Postverlagsort Göttingen

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

UNTER MITWIRKUNG VON

J. BARTELS H. BROCKMANN P. TEN BRUGGENCATE C. W. CORRENS H. v. FICKER R. GRAMMEL
O. HAHN R. HARDER M. HARTMANN W. HEISENBERG A. KÜHN M. v. LAUE H. MARTIUS
R. W. POHL H. REIN E. SCHMIDT H. STILLE

HERAUSGEGEBEN VON

ARNOLD EUCKEN

SPRINGER-VERLAG IN BERLIN

HEFT 3 (65—96) 15. AUGUST 1946*) 33. JAHRGANG

INHALT:

Die erste Bestimmung einer Fixsternentfernung. (Zum hundertsten Todestag von F. W. Bessel.) Von H. STRASSL 65

Die kleinsten ferromagnetischen Elementarbereiche des Eisens. Von HANS KÖNIG 71

Ergebnisse und Probleme der Mitosegiftforschung. Von HANS LETTRÉ 75

Irritabilität, Rhythmik und Periodik. Von ALBRECHT BETHE 86

KURZE ORIGINALMITTEILUNGEN:

Zur Mitte-Rand-Variation der Fraunhoferlinien auf der Sonnenscheibe. Von P. TEN BRUGGENCATE . 91

Mc. LENNANS Hochfrequenz-Beobachtungen an Supraleitern. Von M. v. LAUE 92

Über die Trennung von o-H_2 und p-H_2 durch Thermodiffusion im Trennrohr. Von K. SCHÄFER und H. CORTE 92

Photochemische Spaltung des Kohlenoxyd-Myoglobins durch ultraviolettes Licht (Übertragung der Lichtenergie durch die Proteinkomponente des Pigments). Von THEODOR BÜCHER und JAKOB KASPERS . 93

Lichtfilter für 280 mμ Von THEODOR BÜCHER und JAKOB KASPERS 93

Molekulargewicht des sauerstoffübertragenden Ferments. Von OTTO WARBURG 94

*) Ausgegeben im Oktober 1946.

Soeben beginnt zu erscheinen:

ÄRZTLICHE WOCHENSCHRIFT

Herausgegeben von

Professor Dr. R. Degkwitz
Hamburg

Dr. H. von Kress
Berlin

Dr. F. Redeker
Berlin

Unter Mitwirkung zahlreicher Fachgelehrter

Erscheint zunächst zweimal monatlich,
sobald die äußeren Verhältnisse es gestatten, wöchentlich.

Umfang 32 Seiten. Format DIN A 4

Halbjährlich RM. 19,20; für Studierende der Medizin RM. 15,—
Einzelheft RM. 2,50
zuzüglich Versandkosten

Inhalt des Doppelheftes 1/2:

Originalien: EGGERT, W., Über die Grundlagen der Chemotherapie mit Penicillin; KRESS, Frhr. von, H., und H. LANGECKER, Über das Hungerödem; STÖHR jr., PH., Beobachtungen und Reflexionen zur pathologischen Histologie des vegetativen Nervensystems.

Fortbildung: ROLOFF, W., Die gegenwärtige Anzeigestellung zur operativen Behandlung der Lungentuberkulose; HOSEMANN, H., Die Behandlung der Amenorrhöe.

Kasuistik: BLUMANN, E. L., und G. DRÖGMÖLLER, Zwei Fälle von Obturationserscheinungen im Darm nach Genuß von Pflanzensamen.

Praktische Notizen: KLEINSCHMIDT, H., Zeitgemäße Vereinfachung der künstlichen Säuglingsernährung; KEESER, E., Über die Arzneimittellage in der britischen Zone.

Öffentliches Gesundheitswesen: REDECKER, F., Entwicklung der allgemeinen Sterblichkeit in Berlin nach dem Kriege; FRANCK, E., W. HEUBNER und TH. von UEXKÜLL, Der Arzt an Deutschlands Schicksalswende.

Referate: Tagesgeschichte.

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen vorerst etwa halbmonatlich und können durch die Post und jede Sortimentsbuchhandlung bezogen werden. Preis für 12 Hefte mit zusammen etwa 24 Druckbogen RM. 24.—, für das einzelne Heft RM. 2.50 zuzüglich Postgebühren.

Manuskriptsendungen, Bücher usw. werden erbeten an

„Die Naturwissenschaften"
Göttingen, Bürgerstraße 50
Institut für physikalische Chemie.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung aller in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihrer Verwendung für fremdsprachliche Ausgaben vor.

Anzeigen werden vom Verlag angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Springer-Verlag OHG.
Berlin-Charlottenburg, Jebensstraße 1.
Fernsprecher 32 20 70

Fortsetzung des Inhaltsverzeichnisses:

BESPRECHUNGEN:

KARL JASPERS, Die Idee der Universität. (Ref.: A. Eucken) 95

PASCUAL JORDAN, Statistische Mechanik. (Ref.: A. Sommerfeld) 96

TAGESNOTIZEN:

Zum 60. Geburtstag Paul Buchners 96

In Kürze erscheinen die bisher lizenzierten nachfolgenden Zeitschriften:

Planta. Archiv für wissenschaftliche Botanik
Der Züchter
Mathematische Annalen
Zeitschrift für Physik
Ingenieur-Archiv
Klinische Wochenschrift
Der Chirurg
Archiv für Dermatologie und Syphilis
Der Nervenarzt
Deutsche Zeitschrift für Nervenheilkunde
Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten
Zeitschrift für Kinderheilkunde
Virchow's Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und für klinische Medizin
Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere
Wilhelm Roux' Archiv für Entwicklungsmechanik der Organismen
Biochemische Zeitschrift
Naunyn-Schmiedeberg's Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie
Brauers Beiträge zur Klinik der Tuberkulose und spezifischen Tuberkulose-Forschung
Albrecht von Graefe's Archiv für Ophthalmologie

SPRINGER-VERLAG / BERLIN — HEIDELBERG — MÜNCHEN

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

33. Jahrgang 15. August 1946 Heft 3

Die erste Bestimmung einer Fixsternentfernung.

(Zum hundertsten Todestag von F. W. BESSEL.)

Von H. STRASSL.

Das Jahr 1946 brachte am 17. März die hundertste Wiederkehr des Todestages von FRIEDRICH WILHELM BESSEL und bietet damit Veranlassung, einer seiner größten Leistungen zu gedenken, die über den Kreis der Fachwissenschaftler hinaus Interesse und Anerkennung gefunden hat: der ersten zuverlässig gelungenen Bestimmung einer Fixsternentfernung. Der Name BESSEL ist heute jedem geläufig, der im Bereich der exakten Wissenschaften arbeitet: dem Mathematiker begegnet er in den BESSELschen Funktionen, dem Physiker u. a. bei Pendelversuchen und Messung von Linsenbrennweiten, der Geodät weiß von seinen Gradmessungsarbeiten und kennt die BESSELschen Werte für die Abmessungen des Erdellipsoids. Vor allem aber verehrt der Astronom in BESSEL einen der hervorragendsten Meister seines Fachs, der in rastloser, vielseitiger Tätigkeit neben theoretischer Durchdringung der Probleme die Beobachtungsmethoden in großartiger Weise entwickelte und in mustergültigen Untersuchungen zeigte, welche Leistungen einem Instrument abgerungen werden können, wenn der Beobachter die Eigenheiten und Fehler des Geräts zu beherrschen und in Rechnung zu stellen gelernt hat. Zusammen mit seinen großen Kollegen an der Königsberger Universität, dem Mathematiker C. G. J. JACOBI und dem Physiker F. NEUMANN, wurde BESSEL zum Begründer des hohen Ansehens, das diese Hochschule in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts durch Forschung und Lehre auf dem Gebiet der exakten Wissenschaften gewann.

Geboren war FRIEDRICH WILHELM BESSEL (1, 2) am 22. Juli 1784 in Minden a. d. Weser als Sohn eines Regierungssekretärs. Da die Familie 9 Kinder hatte, herrschte im Hause große Sparsamkeit. Friedrich Wilhelm besuchte das Mindener Gymnasium bis zur Untertertia, hatte aber Schwierigkeiten in der lateinischen Sprache und erlangte von seinem Vater die Erlaubnis, die Schule zu verlassen. Hierbei wurde der Vater von einem Gymnasiallehrer beraten, der die Neigung des Schülers zum Rechnen erkannt hatte. Der Vater brachte dann den Sohn als Lehrling in das angesehene Handelshaus A. G. KULENKAMP in Bremen. Am 1. 1. 1799 begann die Lehrzeit im Kontor mit der Verpflichtung zu 7jähriger unentgeltlicher Tätigkeit. Die geschäftlichen Arbeiten interessierten BESSEL ungemein; er fühlte sich hier in einer weltweiten großzügigen Umgebung und erfüllte seine Pflichten mit solcher Hingabe und solchem Geschick, daß man ihm schon nach kurzer Zeit eine Besoldung gewährte, die von Jahr zu Jahr höher wurde und ihm bald ermöglichte, ohne Unterstützung von den Eltern auszukommen. Die Überseeverbindungen des Hauses veranlaßten ihn, sich mit Warenkunde, modernen Sprachen, Geographie und Nautik zu beschäftigen. Durch die nautischen Studien wurde er zu astronomischen Beobachtungen und zum Studium astronomischer Werke und Jahrbücher geführt. Als er in einem Jahrbuch Angaben über ältere, bis dahin unveröffentlichte Beobachtungen des HALLEYschen Kometen fand, unternahm er eine neue Berechnung seiner Bahn. Diese Arbeit überreichte er im Juli 1804 dem Bremer Arzt W. OLBERS, der durch seine ausgezeichneten astronomischen Arbeiten einen hohen Rang als Astronom erworben hatte. OLBERS erkannte sofort BESSELs Begabung, sorgte für die Veröffentlichung seiner Arbeit und förderte seine astronomischen Studien in jeder Weise. BESSEL, der tagsüber seine Obliegenheiten als Angestellter des Handelshauses vorbildlich erledigte, pflegte einen großen Teil der Nacht astronomischen Arbeiten zu widmen; er führte in dieser Zeit noch weitere mühevolle Untersuchungen über Kometen durch. Bei Ablauf seiner Lehrzeit wußte OLBERS ihn zu bestimmen, ein günstiges Angebot auf Weiterbeschäftigung im Kulenkampschen Unternehmen auszuschlagen und im Frühjahr 1806 eine recht bescheiden dotierte Stellung auf der Sternwarte des Oberamtmanns J. H. SCHROETER in Lilienthal bei Bremen anzunehmen. Dort widmete er sich verschiedenen Aufgaben der beobachtenden und rechnenden Astronomie und erkannte bald die Notwendigkeit einer genauen Berücksichtigung der Instrumentalfehler. Auf Anregung von OLBERS begann er ferner in Lilienthal mit einer Bearbeitung der um 1750 von BRADLEY in Greenwich ausgeführten erstklassigen Meridianbeobachtungen. Dabei war sein Ziel, zu einer genauen Kenntnis grundlegender Sternpositionen und Reduktionsgrößen zu gelangen. Diese Arbeit erwies sich als recht langwierig; sie konnte erst 1818 veröffentlicht werden und trägt den Titel „Fundamenta astronomiae". BESSELs Leistungen erregten großes Aufsehen und brachten ihn in Verbindung mit den führenden Fachleuten seiner Zeit, insbesondere mit GAUSS. Obwohl er weder eine abgeschlossene Schulbildung noch gar den Doktor-Titel besaß, wurde er 1810 als Professor für Astronomie und Direktor der zu erbauenden Sternwarte nach Königsberg berufen. Trotz der politischen Notlage des preußischen Staates wußte der entschiedene Kulturwille der beteiligten Stellen die Schwierigkeiten zu überwinden, die sich dem Bau der Sternwarte entgegenstellten. Noch im Jahr 1810 nahm BESSEL seine Vorlesungen auf; die Göttinger Universität verlieh ihm auf Betreiben von GAUSS den Doktor-Titel. 1812 verheiratete er sich, im November 1813 konnte er in die Sternwarte einziehen. Er begann nun eine unermüdliche Beobachtungstätigkeit. Die zunächst bescheidene instrumentelle Ausrüstung der Sternwarte wurde 1819 durch einen Meridiankreis von REICHENBACH sehr vervollkommnet; dazu kam 1829 ein großes Heliometer von FRAUNHOFER und UTZSCHNEIDER, schließlich 1841 noch ein Meridiankreis von REPSOLD. BESSELS Arbeiten erstreckten sich zunächst hauptsächlich auf Probleme der fundamentalen Positionsastronomie, also Bestimmung der Konstanten von Präzession, Nutation, Aberration, Refraktion, Ekliptikschiefe, sowie auf die Herleitung von Eigenbewegungen durch kritischen Vergleich eigener Beobachtungen mit solchen von BRADLEY und PIAZZI. Daran schlossen sich „Zonenbeobachtungen" zur Festlegung von Sternörtern in zum Äquator parallelen Zonen zwischen den Deklinationen -15^0 und $+45^0$. Mit dem Heliometer maß er Doppelsterndistanzen sowie Planetendurchmesser und Abstände der Planetenmonde von ihrem Zentralkörper. Mit dem gleichen Instrument gelang ihm auch die erste zuverlässige Messung einer Fixsternentfernung, wovon weiter unten noch die Rede sein wird. Aus Schwankungen der Rektaszension von Sirius und der Deklination von Prokyon schloss er auf die Doppelsternnatur dieser Objekte. Abweichungen im Lauf des Planeten Uranus von der vorberechneten Bahn führten ihn zur Annahme eines noch unentdeckten störenden Planeten, doch kam er nicht dazu, die Untersuchung der Angelegenheit wirklich durchzuführen. Erwähnt seien ferner die Untersuchungen über das Sekundenpendel und den Einfluß des Luftwiderstandes

auf die Pendelbewegung. Unter Mitwirkung von J. J. BAEYER hat BESSEL eine Gradmessung in Ostpreußen durchgeführt und dabei grundlegende Verbesserungen angewandt. Aus einer Diskussion verschiedener Gradmessungen bestimmte er die Abmessungen des Erdellipsoids. Auch als Lehrer hat BESSEL erfolgreich gewirkt. Am öffentlichen Bildungswesen nahm er lebhaften Anteil, und seine „Populären Vorlesungen" liest man noch heute mit Interesse. Bei aller Hingabe an die Wissenschaft war BESSEL gesellig und im persönlichen Umgang heiter und offenherzig. Aus der Lilienthaler Zeit hatte er große Vorliebe für die Jagd behalten. Sehr betroffen wurde er durch den Tod seines hoffnungsvollen Sohnes Wilhelm, der 1840 als Baukondukteur in Berlin starb. In den folgenden Jahren verschlechterte sich BESSELs Gesundheit mehr und mehr; doch reiste er noch 1842 zur Naturforscherversammlung in Manchester. Die Krankheit — es war Darmkrebs — erwies sich als unheilbar und führte am 17. März 1846 zum Tod. Er wurde in der Nähe seiner Sternwarte beigesetzt.

BESSELs äußere Erscheinung ist uns in mehreren

Fig. 1. BESSEL im Alter von 59 Jahren nach einer Daguerreotypie von Moser (Reproduziert nach der Wiedergabe in Astr. Nachr. 210[2]).

Bildern überliefert, die bei verschiedenen Gelegenheiten entstanden sind; auch Daguerreotypien befinden sich darunter (3). Am bekanntesten sind wohl die auf einen Stich von MANDSEL zurückgehenden Darstellungen geworden. Hier sei als Fig. 1 die 1843 von dem Königsberger Professor MOSER hergestellte Aufnahme reproduziert, die von Zeitgenossen als sehr lebenswahr empfunden wurde.

Unter den wissenschaftlichen Errungenschaften BESSELs wird vor allem seine Bestimmung einer Fixsternentfernung für alle Zeiten als eine Leistung ersten Ranges gewürdigt werden. Sie bedeutete tatsächlich einen Markstein in der Entwicklung der Astronomie: Jahrhunderte hindurch hatte man sich um den sichtbaren Beweis für die nach der kopernikanischen Lehre vorhandene Relativbewegung der Erde gegen die Fixsterne bemüht; nun endlich war durch BESSEL die gesuchte Erscheinung in der erwarteten Form gefunden, die „Parallaxe" eines Fixsterns mit verbürgtem Erfolg nachgewiesen! Der grundlegende Sachverhalt sei schematisch in perspektivischer Darstellung skizziert: Bei der jährlichen Bewegung der Erde in ihrer nahezu kreisförmigen Bahn ABCDA um die Sonne S (Fig. 2, links) nimmt der Sehstrahl von der Erde zu dem Fixstern F nacheinander die Richtungen AF, BF, CF, DF, AF an. Für den Beobachter auf der Erde E, (Fig. 2, rechts) beschreibt daher der Seh-

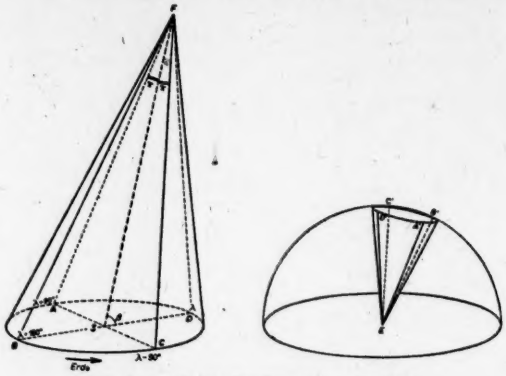


Fig. 2. Jährliche Parallaxe eines Fixsterns.

strahl im Lauf des Jahres einen im allgemeinen schiefen Kreiskegel (EA' // AF, EB' // BF, EC' // CF, ED' // DF), der die — mit beliebigem Radius vorstellbare — Himmelskugel in der Kurve A'B'C'D'A' schneidet. In Wirklichkeit ist die Entfernung FS des Fixsterns im Verhältnis zum Erdbahndurchmesser sehr groß; praktisch wird dann die vom Stern in Jahresperiode scheinbar durchlaufene Kurve A'B'C'D'A' eine kleine Ellipse an der Sphäre, das Dreieck BFD wird praktisch gleichschenklig. Die große Achse der Ellipse hängt nur von der Entfernung des Sterns ab; für einen Stern F der ekliptikalen Länge λ wird sie gebildet durch den Winkel A'EC' = AFC, unter dem der in Richtung $(\lambda - 90^0) \longleftrightarrow (\lambda + 90^0)$ liegende Erdbahndurchmesser AC vom Stern aus erscheint. Das Achsenverhältnis der Ellipse ist gegeben durch den Sinus der ekliptikalen Breite β. Der Winkel AFS = SFC, unter dem der Erdbahnhalbmesser vom Stern aus erscheint, heißt die jährliche Parallaxe des Sterns und wird mit π bezeichnet. Die Messung der Parallaxe eines Sterns ist also gleichbedeutend mit der Bestimmung seiner Entfernung von der Erde in Vielfachen des Erdbahnhalbmessers. Die Parallaxe ist der Entfernung umgekehrt proportional, dem Wert $\pi = 1''$ entspricht die Entfernung 206 265 Erdbahnradien $= 3{,}08 \cdot 10^{13}$ km = 3,26 Lichtjahre.

Zu BESSELs Zeit hatte sich die Überzeugung von der Richtigkeit der heliozentrischen Auffassung aus inneren Gründen längst so allgemein durchgesetzt, daß sie freilich einer empirischen Bestätigung nicht mehr bedurft hätte. Und jeder negative Ausfall eines Versuchs zum Nachweis der Jahresbewegung der Erde konnte immer mit dem Hinweis erklärt werden, die Abstände der Fixsterne seien eben so unermeßlich groß, daß auch der Durchmesser der Erdbahn im Verhältnis dazu nur eine verschwindend kleine Strecke darstelle. Nichtdestoweniger aber blieb die Frage, ob es denn nicht doch mit zunehmender Steigerung der Meßgenauigkeit gelingen könne, die grundsätzlich vorhandene Widerspiegelung der Erdbewegung in parallaktischen Ortsveränderungen der Fixsterne durch Messung zu erfassen und damit begründete Vorstellungen über die wahren Entfernungen von Fixsternen zu gewinnen. Von den mannigfachen Versuchen zur Feststellung einer Fixsternparallaxe seien hier nur die sorgfältigen Beobachtungen von BRADLEY erwähnt, der in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts durch Messung von Zenitdistanzen der nahe am Zenit des Beobachtungsorts kulminierenden Sterne γ Draconis und η Ursae majoris feststellen konnte, daß die scheinbaren Örter der Sterne an der Sphäre zwar Schwankungen mit einer Amplitude von etwa 20" in jährlicher Periode erleiden, die Phase der Schwankungen aber um ein Vierteljahr gegenüber der bei parallaktischen Orts-

veränderungen zu erwartenden verschoben ist. BRADLEY fand die richtige Erklärung für diese, „Aberration" genannte Erscheinung in der Tatsache, daß die Geschwindigkeit des von einem Stern kommenden Lichts im Verhältnis zur Geschwindigkeit der Erdbewegung zwar sehr groß, aber doch nicht unendlich groß ist, was sich in den Beobachtungen der Richtung von der Erde zum Stern noch meßbar auswirkt. Gleichzeitig stellte er fest, daß die Parallaxe für die von ihm beobachteten Sterne jedenfalls kleiner als eine halbe Bogensekunde sein müsse. Hatten BRADLEYs Beobachtungen somit einerseits unerwartet in der Aberration einen direkten Nachweis für die jährliche Umlaufsbewegung der Erde geliefert, so hatten sie andererseits gezeigt, daß man es als aussichtslos betrachten mußte, „absolute" Parallaxen zu messen, d. h. parallaktische Ortsveränderungen von Sternen gegenüber einer auf der Erde festgehaltenen (etwa durch die Fernrohrachse definierten) Richtung. In der Folgezeit wandte man sich daher der Suche nach „relativen" Parallaxen zu: Wenn von zwei an der Sphäre eng benachbarten Sternen der eine in Wahrheit sehr viel weiter von uns entfernt ist als der andere, muß die parallaktische Wirkung im Lauf eines Jahres periodische Veränderungen im sphärischen Abstand zwischen beiden Sternen hervorbringen. Die auf Grund dieser Überlegung ausgeführten Messungen an Doppelsternen ergaben statt der erhofften Parallaxen das Resultat, daß die beiden Komponenten der allermeisten Doppelsterne offenbar nicht nur perspektivisch eng benachbart erscheinen, sondern tatsächlich physisch zusammengehören; damit führten die Beobachtungen zur Entdeckung zahlreicher „echter" Doppelsterne (W. HERSCHEL). In den ersten Jahren des 19. Jahrhunderts glaubten nochmals verschiedene Beobachter (PIAZZI, CALANDRELLI, BRINKLEY) absolute Parallaxen gefunden zu haben, aber die Ergebnisse ließen sich in keiner Weise verbürgen und müssen als illusorisch betrachtet werden. Besondere Erwähnung verdient der Versuch von F. G. W. STRUVE, am großen Refraktor der Dorpater Sternwarte durch mikrometrische Messungen die Parallaxe des Sterns α Lyrae (Wega) abzuleiten. Wega bildet mit einem in 43" Abstand stehenden schwachen Stern einen „unechten" Doppelstern und läßt daher parallaktische Abstandsschwankungen erwarten; die große Helligkeit von Wega im Verhältnis zum Nachbarstern ließ überdies vermuten, daß Wega uns viel näher stehe als der Nachbarstern. 17 mikrometrische Abstandsmessungen, die STRUVE in den Jahren 1835—37 ausführte, lieferten für die relative Parallaxe von Wega den Wert 0,"125 mit dem mittleren Fehler ± 0,"081. Die Parallaxe konnte daher nicht als verbürgt betrachtet werden; doch begründete dieses im Jahre 1837 veröffentlichte Ergebnis die Hoffnung, daß man durch Fortsetzung der Beobachtungen einen gesicherten Wert erreichen könne. In der Tat gelang es, durch weitere Beobachtungen den mittleren Fehler herabzudrücken, so daß STRUVE im Jahre 1840 sein Endergebnis $\pi = 0,''262 \pm 0,''037$ veröffentlichen konnte. Bei dieser Untersuchung hat insofern der Zufall eine witzige Rolle gespielt, als STRUVEs älterer, wenngleich noch unverbürgter Wert viel besser mit dem heute zuverlässig bekannten Wert $\pi = 0,''121 \pm 0,''006$ übereinstimmt als der von ihm gegebene Endwert.

Hatte man bis dahin im allgemeinen in großer Helligkeit eines Sterns ein Anzeichen für große Nähe gesehen, so fand hingegen BESSEL bei seinen Untersuchungen über die Eigenbewegungen eine größere Anzahl von Fixsternen, die sich ganz unabhängig von der Helligkeit durch große Eigenbewegung auszeichnen und damit die Vermutung begründen, uns verhältnismäßig nahe zu sein. Bei der Suche nach Sternen, die am ehesten Aussicht auf eine durch Messung erfaßbare Parallaxe bieten, hat man also in erster Linie Sterne mit großer Eigenbewegung ohne Rücksicht auf die Helligkeit in Betracht zu ziehen. Aus dieser Erwägung heraus beschloß BESSEL, die Bestimmung der Parallaxe an dem Stern zu versuchen, der die größte Eigenbewegung aufwies. Dies war ein Stern 5. Größe im Sternbild des Schwans, der in FLAMSTEEDs Sternverzeichnis die Bezeichnung 61 Cygni erhalten hatte; seine Position für 1838 ist: $\alpha = 21^h 59{,}6^m$, $\delta = +37°57'$. In den Jahren 1815/16 versuchte BESSEL, durch Beobachtung der Rektaszensionsdifferenzen von 61 Cyg gegen 6 benachbarte Sterne die Parallaxe zu ermitteln; doch fand er kein positives Ergebnis. Auch ARAGO und MATTHIEU hatten, wie BESSEL erwähnt, bereits im Jahre 1812 Beobachtungen zur Bestimmung der Parallaxe von 61 Cyg angestellt und daraus den Wert $\pi = 0,''5$ abgeleitet, den sie im „Annuaire du Bureau des Longitudes pour 1834" veröffentlichten. Da aber alle zu einer kritischen Stellungnahme erforderlichen Angaben, insbesondere die Beobachtungen selbst, in der Mitteilung fehlen, kann man dem Ergebnis keinen Wert beilegen.

Neue Hoffnung auf einen Erfolg seiner Bemühungen gewann BESSEL, als ihm in dem Heliometer ein ausgezeichnetes Hilfsmittel für die Messung kleiner Sternabstände zur Verfügung stand. Zum Verständnis des Meßvorgangs sei kurz das Prinzip des Heliometers erläutert (4). Das Gerät stellt im wesentlichen ein astronomisches Fernrohr dar, dessen Objektiv um die optische Achse des Fernrohrs gedreht werden kann und längs eines Durchmessers zerschnitten ist; beide Objektivhälften können längs der Schnittlinie um genau meßbare Beträge senkrecht zur optischen Achse verschoben werden. Jede Objektivhälfte erzeugt von einem Stern in der Brennebene ein Bild. In der Nullstellung haben beide Hälften keine gegenseitige Verschiebung, die von ihnen erzeugten Bilder eines Sterns fallen zusammen. Entsprechend erhält man in dieser Stellung von zwei benachbarten Sternen A und B das gleiche Bild wie bei einem unzerschnittenen Objektiv. Vgl. hierzu Fig. 3.

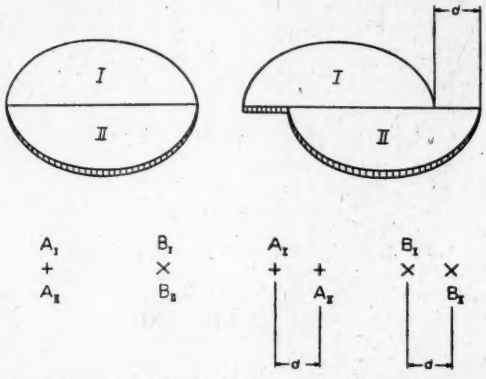


Fig. 3. Wirkungsweise des Heliometers. + und × sind die Brennpunktsbilder zweier Sterne A und B; Index I bezieht sich auf das von der Objektivhälfte I, Index II auf das von der Hälfte II erzeugte Bild. Links: Nullstellung. Rechts: Verschobene Stellung; die Verschiebung d der Objektivhälften ist gleich dem Abstand zwischen den Bildern A_I und A_{II} bzw. B_I und B_{II}.

In der verschobenen Stellung ist der Abstand zwischen den von den einzelnen Hälften erzeugten Bildern des gleichen Sterns gleich der Verschiebung zwischen den Hälften. Man kann nun — nachdem man das Objektiv so weit um die Fernrohrachse gedreht hat, daß die Schnittlinie mit der Verbindungslinie der beiden Sterne AB zusammenfällt — durch Verschieben der Hälften erreichen, daß z. B. (nach der Bezeichnung in Fig. 3) die Bilder A_{II} und B_I zusammenfallen; die Verschiebung der Hälften gibt dann die Sterndistanz AB in der Brennebene, aus der man bei Kenntnis der Brennweite die Sterndistanz im Winkelmaß erhält. Die Messung der Distanz geschieht also hier mit einer einzigen Pointierung, die beide Sterne gleichzeitig erfaßt, während man z. B. bei der Messung mit dem Fadenmikrometer den Faden zunächst auf den einen und dann auf den andern Stern einstellen muß. Es leuchtet ein, daß das Heliometer

bessere Ergebnisse liefert; auch gestattet es, größere Abstände zu messen als das Fadenmikrometer. Praktisch wird das Meßverfahren am Heliometer je nach den Umständen etwas modifiziert, doch brauchen wir hier darauf nicht einzugehen (vgl. dazu 5). Es sei noch erwähnt, daß das Heliometer ganz entsprechend auch zur Messung des Durchmessers der Sonne (daher der Name!) und der Planeten dienen kann. BESSELs Heliometer (6) gestattete die Messung von Winkelabständen bis zu 1°52'. Es hatte einen Objektivdurchmesser von 158 mm und eine Brennweite von 2,6 m, so daß einer gegenseitigen Verschiebung der Objektivhälften um 1 mm eine Winkeldistanz von rund 80" entsprach. Fig. 4 zeigt das Instrument auf seiner

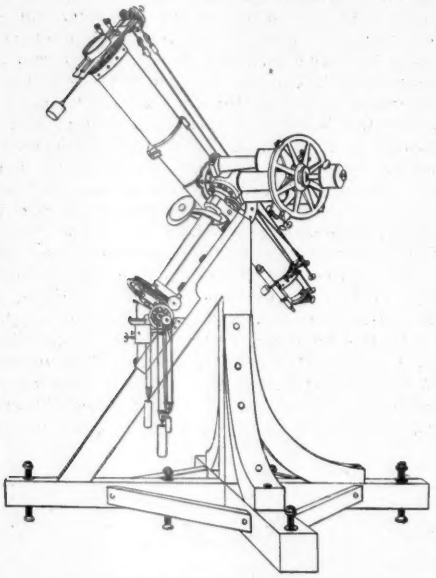


Fig. 4. Das große Königsberger Heliometer von Fraunhofer.

äquatorialen Montierung. Die Verschiebung jeder Objektivhälfte wird unabhängig von der anderen durch einen Schlüssel vom Okularende aus bewirkt, der Betrag der Verschiebung ist an der Schraubentrommel bzw. Skala auf dem Objektivkopf abzulesen. Eine Drehung der in 100 partes unterteilten Schraubentrommel entspricht nach BESSEL der Winkeldistanz 52,"91788, wobei noch eine Temperaturkorrektion zu berücksichtigen ist. Der Trommeldurchmesser ist so groß, daß ein Tausendstel einer Umdrehung noch mit Sicherheit erkannt wird.

Der Stern 61 Cyg, dessen relative Parallaxe durch Messung seines Abstandes gegen Vergleichssterne bestimmt werden sollte, ist in Wirklichkeit ein Sternpaar, dessen Komponenten im Abstand 16,"2 voneinander standen. Die Übereinstimmung der Eigenbewegung beider Komponenten kennzeichnete das System als physischen Doppelstern. Als solcher bietet er für heliometrische Messungen den Vorteil, daß der Beobachter das Zusammenfallen des von der einen Objektivhälfte entworfenen Vergleichssternbildes mit dem Mittelpunkt des von der anderen Hälfte entworfenen Doppelsternbildes sicherer beurteilen kann, als er etwa die Koinzidenz der beiden Bilder von Einzelsternen erfassen könnte. Bei der Stellung des Sterns 61 Cyg am Himmel konnte er in Königsberg nahezu das ganze Jahr hindurch (bis auf etwa 1 Monat) bei Nacht in ausreichender Höhe über dem Horizont beobachtet werden. Er liegt in sternreicher Umgebung, so daß es keine Schwierigkeiten macht, Vergleichssterne zu finden. BESSEL wählte zum Vergleich zwei Nachbarsterne von 9. bis 10. Größe, deren Abstände von der Erde für den vorliegenden Zweck als unendlich anzunehmen waren, so daß für sie selbst keine parallaktischen Verschiebungen in Frage kamen. Von beiden Vergleichssternen liegt der eine (a) etwa senkrecht zur Verbindungslinie der Doppelsternkomponenten, der andere (b) etwa in der Verlängerung dieser Verbindungslinie. Die gegenseitige Lage ist in Fig. 5 maßstäblich

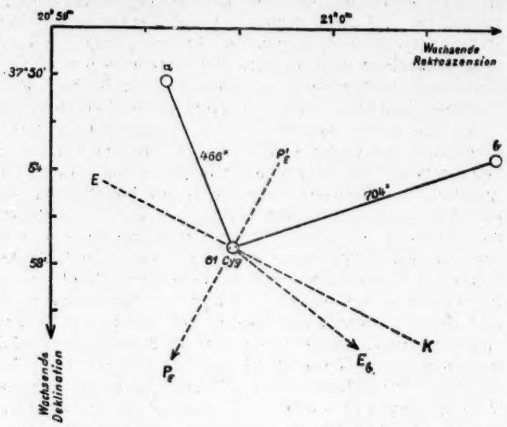


Fig. 5. Lage des Sterns 61 Cyg zu den Vergleichssternen a und b (Anblick im umkehrenden Fernrohr in Meridianstellung). Eb = Richtung der Eigenbewegung von 61 Cyg (Betrag 5",2 pro Jahr), EK = Parallelkreis zur Ekliptik, $P'_E P_E$ = Richtung zum Pol der Ekliptik (Abstand vom Pol 3808'). Die große Achse der parallaktischen Ellipse von 61 Cyg liegt in EK, die kleine in $P'_E P_E$.

skizziert. Durch Heliometeranschlüsse wurde nun jeweils der Abstand zwischen 61 Cyg und a bzw. der Abstand zwischen 61 Cyg und b in der aus Fig. 6 ersichtlichen Weise gemessen. Der Deutlichkeit halber ist in Fig. 6 die Distanz zwischen den beiden Komponenten von 61 Cyg im Verhältnis 6,55 : 1 zu den übrigen Abständen vergrößert gezeichnet. Bei Betrachtung aus der deutlichen Sehweite 30 cm erscheint hier die Distanz der Komponenten von 61 Cyg unter demselben Winkel, wie sie BESSEL, der mit 300-facher Vergrößerung arbeitete, am Heliometer erschien. Für jede Bestimmung eines Abstandes führte BESSEL insgesamt 16 Einzelmessungen aus, und zwar so, daß in zwei Gruppen von je 8 Messungen die Objektivhälften I und II auf entgegengesetzten Seiten standen; innerhalb jeder Gruppe wurde das Zusammenfallen der Bilder abwechselnd durch Verschieben der einen und der anderen Objektivhälfte durchgeführt. Die aus den Messungen mit Berücksichtigung der Temperaturkorrektion ermittelten Abstände wurden um die kleinen Beträge der atmosphärischen Refraktion verbessert. Am 18. März 1837 begann BESSEL mit den Beobachtungen; bis zum 2. Oktober 1838 lagen 85 Anschlüsse an Stern a und 98 Anschlüsse an Stern b vor. Damit umfaßten die Beobachtungen einen größeren Zeitraum als die parallaktische Jahresperiode. Bei der Bearbeitung war in Rechnung zu stellen, daß drei Ursachen zeitliche Veränderungen des Abstands zwischen 61 Cyg und dem jeweiligen Vergleichsstern bewirken:

1. Die Differenz der Aberrationswirkung δA auf 61 Cyg und den Vergleichsstern,
2. die Eigenbewegung von 61 Cyg relativ zum Vergleichsstern,
3. die Wirkung der Parallaxe auf 61 Cyg.

Der Aberrationseffekt δA hängt nur vom Ort der Sterne an der Sphäre und der Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn zum Zeitpunkt der Beobachtung ab, konnte daher leicht berücksichtigt werden. Er bewirkt Abstandsänderungen mit jährlicher Periode, deren Amplitude bei den Anschlüssen an a $\pm$ 0,"023, bei b $\pm$ 0,"035 beträgt. Die Eigenbewegung von 61 Cyg bewirkt eine fortlaufende Änderung des Abstands und wird in Abhängigkeit von der Zeit durch ein lineares Glied $C_1 . t$ mit kleinem quadratischen Zusatzglied $C_2 . t^2$ gegeben. Ihr Betrag war nahezu bekannt; ein Korrektionsglied c_1 (so daß $C_1 = C'_1 + c_1$ mit bekanntem C'_1) wurde als Unbekannte in die

Rechnung eingeführt. Die Eigenbewegung von 61 Cyg ist übrigens so gerichtet, daß im Beobachtungszeitraum der Abstand von Stern a ständig wuchs, der von Stern b ständig abnahm. Die Wirkung der Parallaxe besteht in Abstandsänderungen mit jährlicher Periode. Ihre Phase ist durch die Länge der Sonne in der Ekliptik zur Beobachtungszeit und eine von Ort und Stellung der Sterne abhängige Größe M bestimmt und damit bekannt. Die Amplitude ist die gesuchte Parallaxe π, noch behaftet mit einem vom Ort und der gegenseitigen Stellung der Sterne abhängigen Faktor F, der zum Ausdruck bringt, daß die parallaktische Verschiebung je nach der Lage der Sterne nicht mit vollem Betrag in die Abstandsänderung eingeht; F hat für die Anschlüsse von 61 Cyg an beide Vergleichssterne nahezu den gleichen Wert 0,9. Bedeutet nun Δ_t den Abstand zur Zeit t (t in Jahren gerechnet, gezählt seit Beginn 1838), so hat man für jeden gemessenen Abstand eine Gleichung von der Form

$$\Delta_t = \Delta_0 + \delta A + (C'_1 + c_1) \cdot t + C_3 \cdot t^2 + \pi F \cos(\odot - M),$$

insgesamt also 85 Gleichungen für Stern a, 98 Gleichungen für Stern b. Unbekannt und durch Ausgleichung zu bestimmen sind neben der Parallaxe π die für jeden Vergleichsstern besonderen Werte Δ_0 und c_1 BESSEL behandelte die Gleichungen für beide Sterne gesondert und fand für die relative Parallaxe von 61 Cyg

gegen a den Wert $\pi = 0,''3690 \pm 0,''0283$

gegen b den Wert $\pi = 0,''2605 \pm 0,''0278$.

An dem Vorhandensein einer Parallaxe im Betrag von etwa 0,''3 war danach nicht mehr zu zweifeln. BESSEL hielt es — wie sich in der Folge zeigte, mit Recht — für unwahrscheinlich, aus dem Unterschied der beiden Werte auf verschiedene Beträge für die eigenen Parallaxen der beiden Vergleichssterne schließen zu sollen. Er faßte daher das Ergebnis zu dem Mittelwert für die Parallaxe von 61 Cyg: $\pi = 0,''3136 \pm 0,''0202$ zusammen.

Die Ausgleichung lieferte als mittleren Fehler einer Abstandsbestimmung von 61 Cyg gegen Stern a den Betrag $\pm$ 0,''1327, gegen b den Betrag $\pm$ 0,''1605, deutet also an, daß erstere etwas genauer ausgefallen war als letztere. BESSEL findet dafür die einleuchtende Erklärung, daß die Luftunruhe die Einstellung des Vergleichssterns auf die Verbindungslinie der Komponenten von 61 Cyg, wie sie im Fall a vorzunehmen ist, weniger beeinträchtigt als die Einstellung auf Halbierung der Distanz, die im Fall b auszuführen ist. Da mit 300-facher Vergrößerung gearbeitet wurde und jede Abstandsbestimmung auf 16 Einstellungen beruht, läßt sich schließen, daß — bei einer subjektiven Trennung der Komponenten von 61 Cyg um 1°,35 — der subjektive mittlere Fehler einer Einstellung von Stern a auf die Verbindungsstrecke von 61 Cyg $\pm$ 2,''7, der einer Einstellung von Stern b auf die Mitte der Verbindungsstrecke $\pm$ 3,''2 betrug. Letzteres entspricht in einer deutlichen Sehweite von 30 cm der Schätzung des Mittelpunkts einer 7,1 mm langen Strecke auf $\pm$ 0,28 mm. Die lineare Ungenauigkeit der gegenseitigen Verschiebung der Objektivhälften des Heliometers bei einer Einstellung ergibt sich zu $\pm$ 6,7 μ bei a und $\pm$ 8,1 μ bei b.

Über die gelungene Parallaxenbestimmung hat BESSEL in einem Brief an W. HERSCHEL vom 23. Oktober 1838 berichtet; in der physikal.-oekonomischen Gesellschaft zu Königsberg hielt er einen Vortrag über das gleiche Thema (7); die ausführliche Veröffentlichung findet sich in den Astronomischen Nachrichten, Bd. 16, Dez. 1838 (8).

Schon bei Bearbeitung der ersten Beobachtungsreihe hatte BESSEL die Absicht, zum Nachweis der Reproduzierbarkeit des gefundenen parallaktischen Effekts die Messungen in derselben Art weiterzuführen. Gleich nach Beendigung der besprochenen Messungen ließ er indessen das mittlerweile seit 10 Jahren benutzte Heliometer auseinandernehmen, um eventuelle Schäden zu beheben. Dabei zeigte sich vor allem, daß sowohl die Spitzen der die Bewegung der Objektivhälften bewirkenden Mikrometerschrauben als auch die Unterlegeplatten aus Glockenmetall, auf die sie sich stützten, gelitten hatten; die Schäden wurden beseitigt, insbesondere die Unterlegeplatten durch solche aus gehärtetem Stahl ersetzt; nichtsdestoweniger traten, wie sich später zeigte, in der neuen Beobachtungsreihe die gleichen Übelstände auf. Am 12. November 1838 konnte BESSEL die Beobachtungen wieder aufnehmen und bis zum 9. Juli 1839 fortsetzen. Als er in den folgenden Monaten auf Reisen sein mußte, übernahm sein Mitarbeiter SCHLUTER die Beobachtungsarbeit und führte sie zu BESSELs voller Zufriedenheit bis zum 23. März 1840 weiter. Mit Einschluß der bereits bearbeiteten Reihe lagen nun insgesamt 188 Anschlüsse an Stern a und 214 an Stern b vor.

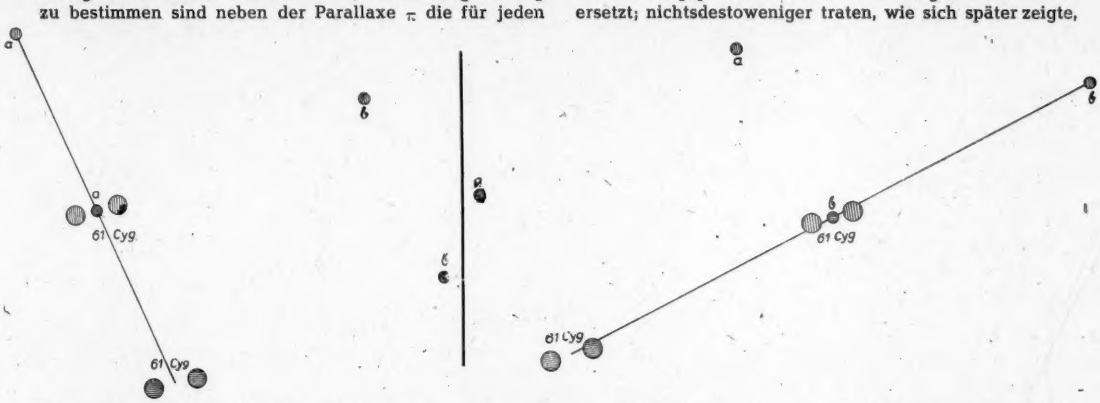


Fig. 6. Messung des sphärischen Abstands zwischen 61 Cyg und den Vergleichssternen a und b mit dem Heliometer. Die von der einen Objektivhälfte entworfenen Bilder sind durch senkrechte, die von der anderen entworfenen durch waagerechte Schraffur wiedergegeben. Links: Anschluß an a, rechts an b.

Was nun die Bearbeitung des gesamten Materials betraf, so wurde BESSEL zu der Ansicht geführt, daß die bei der Überholung des Heliometers bemerkten, offenbar mit der Zeit stärker werdenden Veränderungen des Instruments einen zeitlichen Gang in den Abstandsmessungen verursacht haben konnten; auch die am Instrument vorgenommenen Änderungen konnten einen Einfluß auf die Abstandsmessungen gehabt haben. Wenn auch nicht gerade zu erwarten war, daß diese Mängel den periodischen Parallaxeneffekt ernsthaft entstellen würden, so war BESSEL doch der Meinung, daß es unzulässig sein würde, die älteren Beobachtungen mit den neueren zusammen als eine völlig homogene Reihe zu betrachten, daß man vielmehr wenigstens die mittleren (oben mit Δ_0 bezeichneten) Sternabstände in beiden Reihen unterscheiden müsse. Mit dieser Erweiterung führte er nun die Ausgleichung des gesamten Materials in der oben erläuterten Weise durch. Dabei ergab sich in Δ_0 ein Unterschied der neuen gegen die alten Beobachtungen vom Betrage $\pm$ 0,''42 für Stern a und — 0,''15 für Stern b. Für die relative Parallaxe von 61 Cyg fand BESSEL:

gegen a den Wert $\pi = 0,''3584 \pm 0,''01928$
gegen b den Wert $\pi = 0,''3289 \pm 0,''02073$.

Beide Werte stimmen besser miteinander überein als die früheren Resultate. BESSEL vereinigte sie zu seinem Endergebnis: $\pi = 0,''3483 \pm 0,''0141$, das er mit den Beobachtungen in den Astronomischen Nachrichten Bd. 17 (Mai 1840) bekanntgab (9).

Kurven ergeben sich nach der gleichen Formel bei Weglassung des Parallaxengliedes. Die Abweichungen der Wellenlinien von den mittleren Kurven stellen also den periodischen Parallaxeneffekt dar. (Der ebenfalls periodische Aberrationseffekt δA ist viel kleiner und tritt in der Zeichnung nicht hervor.) Die Unstetigkeit der Kurven zwischen 1838 Oktober 10 und November 12 rührt davon

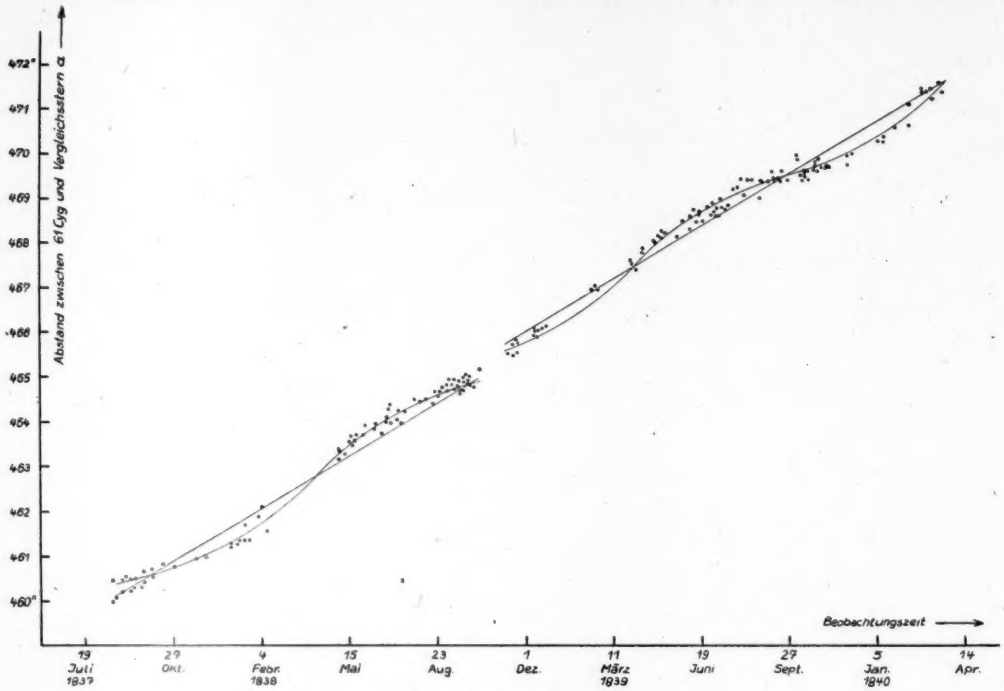


Fig. 7. Abstände zwischen 61 Cyg und Vergleichsstern a.

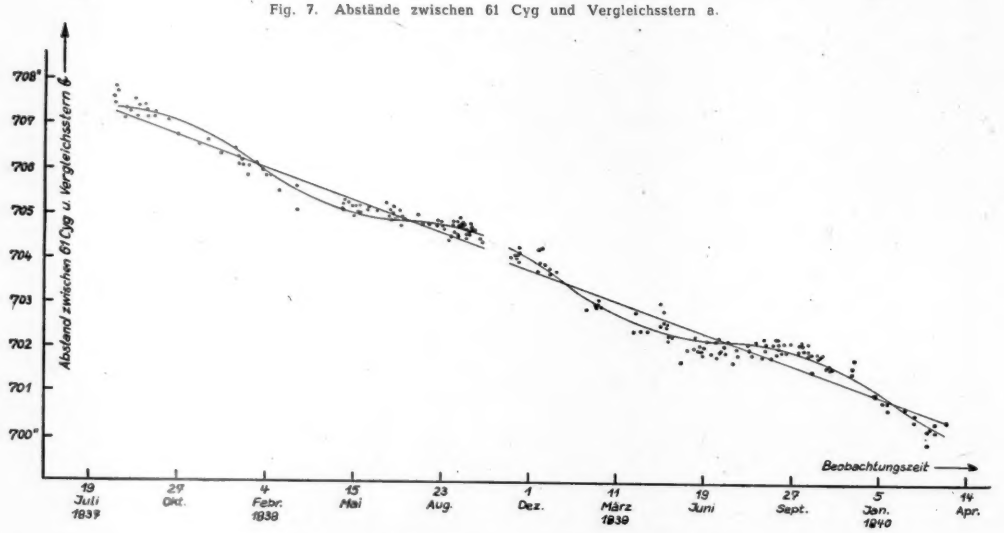


Fig. 8. Abstände zwischen 61 Cyg und Vergleichsstern b.

Zur Veranschaulichung der Verhältnisse sind noch in den Fig. 7 und 8 die gemessenen, von BESSEL mitgeteilten Distanzen zwischen 61 Cyg und den beiden Vergleichssternen für die einzelnen Beobachtungstage eingetragen. Das Gesetz für die Abhängigkeit der Distanzen von der Zeit ist durch die obige Formel für Δ_t gegeben, wobei die Größen Δ_0, c_1, π durch die Ausgleichung bekannt geworden sind. Dieser Formel entsprechen die eingezeichneten Wellenlinien. Die mittleren, nahezu geradlinigen

her, daß BESSEL für die früheren Anschlüsse an die beiden Vergleichssterne zwei andere Δ_0-Werte in Ansatz bringen mußte als für die späteren.

Die Auswirkung der zeitlichen Änderungen im Zustand des Heliometers und der Eingriffe bei der Überholung des Instrument war in BESSELs Beobachtungen unverkennbar; doch hatte sich der Einfluß nicht mit der wünschenswerten Klarheit ermitteln lassen. Das eigentliche Ziel der Untersuchung hat BESSEL mit der Ge-

winnung der Parallaxe zweifellos erreicht; dagegen hatte z. B. die Frage nach dem wahren Wert der beiden Abstände Δ, nur ungenügend beantwortet werden können. Es blieben somit noch einige Punkte, die weiterer Klärung bedurften. Dieser Umstand wie überhaupt das allgemeine Interesse, das die Parallaxenbestimmung im Anschluß an BESSELs Pionierarbeit fand, veranlaßte in der Folgezeit verschiedene Astronomen zu Untersuchungen über die Parallaxe von 61 Cyg. Eine Diskussion der BESSEL'schen Beobachtungen durch AUWERS (10) sowie anderweitige Beobachtungen führten dazu, daß eine Zeitlang ein Wert von etwa 0,"5 für die Parallaxe von 61 Cyg als der wahrscheinlichste angesehen wurde. Indessen haben neuere Bestimmungen, insbesondere die modernen photographischen Methoden — die infolge der überlegenen Genauigkeit inzwischen das Heliometer verdrängt haben (11) — wieder auf Beträge geführt, die dem BESSEL'schen Wert nahekommen. Als bester Wert kann heute der in SCHLESINGERs Parallaxenkatalog (1935) aufgeführte Betrag $\pi = 0,"299$ gelten, dessen mittlerer Fehler etwa $\pm$ 0,"0045 beträgt. Diesem Wert entspricht die Entfernung $6{,}9 \cdot 10^5$ Erdbahnradien = 10,9 Lichtjahre.

Wenn somit auch nach dem Abschluß von BESSELs Arbeiten über den genauen Wert der Parallaxe von 61 Cyg noch Zweifel auftreten konnten, so stand doch fest, daß BESSEL in seinen Messungen den parallaktischen Effekt zumindest der Größenordnung nach sicher erfaßt und damit einen Erfolg errungen hatte, um den viele Generationen vergeblich gekämpft hatten.

Literatur.

1. C. BRUHNS: Artikel „Bessel" in der Allg. Deutschen Biographie, 9. Lieferung, Leipzig 1875. — 2. J. A. REPSOLD: Friedrich Wilhelm Bessel. Astr. Nachr. **210**, 161—214 (1919). — 3. LEOPOLD VON BESSEL: Bessels Bildnisse. Die Himmelswelt **49**, 7—13 (1939). — 4. W. SCHUR: Artikel „Heliometer" in Valentiners Handwörterbuch der Astronomie, **2**, 4—27 (1898). — 5. L. AMBRONN: Über die Methoden der Distanzmessung zweier Sterne mit dem Heliometer. Zeitschrift f. Instrumentenkunde, Januar 1893, 17—24. 6. F. W. BESSEL: Vorläufige Nachricht von einem auf der Königsberger Sternwarte befindlichen großen Heliometer. Astr. Nachr. **8**, 397—426 (1830). — 7. F. W. BESSEL: Messung der Entfernung des 61. Sterns im Sternbilde des Schwans. In: H. C. SCHUMACHER, Jahrbuch für 1839. — 8. F. W. BESSEL: Bestimmung der Entfernung des 61. Sterns des Schwans. Astr. Nachr. **16**, 65—96 (1838). 9. F. W. BESSEL: Fernere Nachricht von der Bestimmung der Entfernung des 61. Sterns des Schwans, Astr. Nachr. **17**, 257—276 (1840). — 10. A. AUWERS: Parallaxen-Bestimmungen mit dem Königsberger Heliometer. Astr. Nachr. **59**, 289—384 (1863). — 11. G. SCHNAUDER: Entwicklung und Stand der Parallaxenforschung. Erg. d. exakt. Naturwissensch. **2**, 19—49 (1923).

Eingegangen am 27. Juni 1946.

Die kleinsten ferromagnetischen Elementarbereiche des Eisens.

Von HANS KÖNIG.

1. Das Wesen des Dia- und Paramagnetismus läßt sich fast ausschließlich auf das magnetische Verhalten der Einzelatome zurückführen. Dies ist beim Ferromagnetismus keineswegs der Fall: Eigenschaften wie die Feldabhängigkeit der Suszeptibilität, das Auftreten von Hysteresiserscheinungen und das Verschwinden der ferromagnetischen Eigenschaften bei einer bestimmten Temperatur (Curietemperatur) sind nur zu verstehen, wenn man die gegenseitigen Wechselwirkungen zwischen benachbarten Atomen berücksichtigt. Es gibt keine ferromagnetischen Eisenatome, sondern die ferromagnetischen Eigenschaften des Eisens treten erst bei einer Vielheit von gittermäßig geordneten Atomen auf.

Bereits die ältesten Theorien des Ferromagnetismus sprechen von Molekularmagneten, die nicht näher beschrieben werden, im Laufe der Zeit aber immer konkretere Formen annehmen. Nach S. D. POISSON (1820) enthalten die Molekularmagnete gleichviel positiven und negativen Magnetismus. Beim Anlegen eines äußeren Feldes sollen dann die im unmagnetischen Zustand durcheinandergemischten entgegengesetzten Magnetismen voneinander geschieden werden. A. M. AMPÈRE (1821) umgibt die Moleküle der ferromagnetischen Stoffe mit elektrischen Strömen nach Art der Fig. 1, die „avant l'aimantation" in den verschiedensten

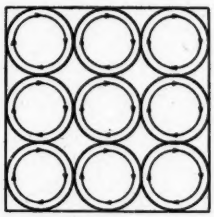


Fig. 1. Ampèresche Molekularströme als Ursache des Magnetismus.

Richtungen liegen, so daß keinerlei Polarisation nach außen zu bemerken ist. Die Magnetisierung besteht nun darin, daß diese Molekularströme alle geordnet werden. Bei Stahl bleiben die Ströme mehr oder weniger gleichgerichtet, bei weichem Eisen nehmen sie nach Aufhören der magnetisierenden Kraft die frühere Lage wieder ein. AMPÈRE bezeichnet die Molikularströme als „la cause unique" aller magnetischen Erscheinungen. Diese Auffassung wird auch von W. WEBER (1852) geteilt, der annimmt, daß den Elementarmagneten mit ihrem unveränderlichen Moment eine Richtkraft innewohnt, die sie, der äußeren Kraft entgegen, in ihre ursprüngliche Lage zurückzuführen sucht. Mit Hilfe dieser willkürlich angenommenen Richtkraft lassen sich die Sättigung und die Abhängigkeit der Suszeptibilität von der Feldstärke zwar roh erklären, die Erscheinungen der Hysterese können aber daraus nicht gefolgert werden. Diese Theorien wurden dann von J. C. MAXWELL und G. WIEDEMANN verbessert und von J. A. EWING (1890) wesentlich gefördert. Nach ihm sind die Elementarmagnete für sich völlig frei drehbar, sie unterliegen nur Kräften, die die Nachbarmagnete auf sie ausüben. An einem Modell aus 24 kleinen Magnetchen konnte EWING eine der üblichen Hystereseschleife schon recht ähnliche Kurve (Fig. 2) erhalten, die Größenordnung der

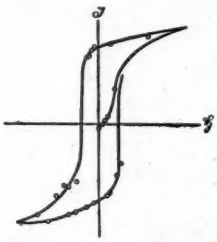


Fig. 2. Hysteresisschleife eines aus 24 Magnetchen aufgebauten Modellferromagnetikums nach EWING.

gegenseitigen magnetischen Kräfte in seinem Modell ist aber zu klein, um die beobachteten Werte der ferromagnetischen Stoffe in befriedigender Weise zu erklären.

In einem Ferromagnetikum erhält man bereits durch ein verhältnismäßig schwaches äußeres Feld eine starke Magnetisierung, obwohl die atomaren Momente nicht größenordnungsmäßig von denen der paramagnetischen Stoffe verschieden sind. Diesen Unterschied erklärt P. WEISS (1) formal durch die Einführung eines der Magnetisierung proportionalen *inneren Feldes*. Durch dieses innere Feld wird unterhalb der Curietemperatur innerhalb der Elementarbereiche eine spontane Magnetisierung erzwungen, deren Richtung von Bereich zu Bereich verschieden ist, so daß ohne äußeres Feld ein nach außen wirksames magnetisches Moment nicht vorhanden ist. In einem äußeren Magnetfeld werden dann bei zunehmender Feldstärke die Magnetisierungsrich-

tungen der Bereiche mehr und mehr in die Feldrichtung gedreht, oder ein zur Feldrichtung günstig liegender Bereich auf Kosten eines ungünstiger liegenden, durch Verschieben der Wand zwischen den beiden Bereichen, vergrößert. Diese einzelnen Elementarvorgänge konnte BARKHAUSEN (2) im Telephon nachweisen, während es HEISENBERG (3) gelang, das innere Feld und damit die Ursache der spontan magnetisierten Bereiche als Austauschwechselwirkung benachbarter Bausteine wellenmechanisch zu deuten, indem er Gesichtspunkte, die die Termunterschiede zwischen Ortho- und Parahelium, sowie die homöopolare Bindungsenergie in der H_2-Molekel zu berechnen gestatten, auf die ferromagnetischen Erscheinungen überträgt. Im Ferromagnetikum werden die Spins der Elektronen durch eine besondere Art der Wechselwirkung parallel gerichtet. Diese Wechselwirkung hat ihren Ursprung in einem Vorgang, der dem Energieaustausch zwischen zwei Pendeln gleicher Schwingungsdauer analog ist. Der Ferromagnetismus ist an die Existenz eines Raumgitters gebunden (4); die von WEISS zunächst angenommenen spontan magnetisierten Bereiche sind also Teile eines Kristallgitters. In diesem Zusammenhang ist beruhigend, daß der Ferromagnetismus flüssiger Amalgame durch suspendierte Eisenkriställchen verursacht wird. (5)

2. Wir wollen uns hier einmal mit der *Größe dieser WEISS-HEISENBERGschen Elementarbereiche* befassen, und zwar wollen wir die Frage nach den *kleinsten* dieser Bereiche beim Eisen beantworten. Einzelne Atome haben nur ein paramagnetisches Moment, während beispielsweise Eisenfeilicht aus spontan magnetisierten Bereichen aufgebaut ist. *Bei welcher Kristallgröße findet der Übergang vom paramagnetischen in den ferromagnetischen Zustand statt?*

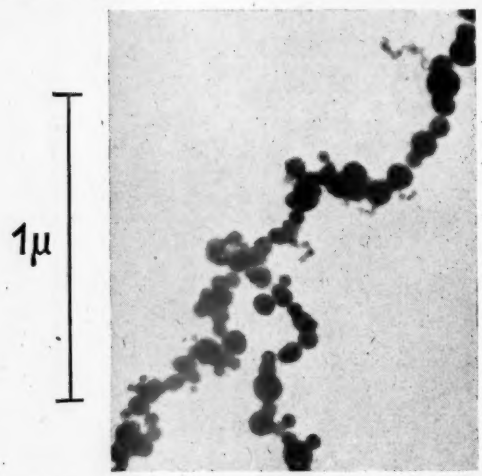


Fig. 3. Ferromagnetische Elementarbereiche von γ—Fe_2O_3 bei 40 000facher Vergrößerung.

Die Größe von ferromagnetischen Elementarbereichen in verschiedenen Materialien kann außerordentlich stark variieren; sie kann beispielsweise in einem Permalloydraht unter Zug viele Zentimeter betragen und sich über eine Vielzahl von Kristallen erstrecken, sie kann aber auch (in unverspanntem Material) aus einzelnen winzigen Kriställchen bestehen, wie das folgende Beispiel zeigt: Fängt man den Rauch eines Eisenlichtbogens, der aus dem ferromagnetischen kubischen Eisenoxyd γ-Fe_2O_3 besteht, auf einer elektronendurchlässigen Haut auf, so ergibt ihre Abbildung im Elektronenmikroskop bei 40 000facher Vergrößerung nebenstehende Ketten (Fig. 3). Die einzelnen Eisenoxydkriställchen, deren jedes einen ferromagnetischen Elementarbereich darstellen dürfte, haben sich im Erdfeld perlschnurartig aneinandergereiht. Kondensiert man das Oxyd auf einer Unterlage, deren Temperatur höher ist als seine Curietemperatur, so erhält man völlig regellos angeordnete Teilchen (6). Die Größe der Elementarbezirke ergibt sich aus Fig. 3 zu 100—1000 Å.

BITTER (7) macht den Versuch, die Gebiete der spontanen Magnetisierung mit den ZWICKYschen (8) Mosaikblöcken zu identifizieren und gelangt dabei für Eisen und Nickel zu einer Abschätzung, die etwa 10^5 Atome in einem ferromagnetischen Bezirk ergibt. Beim kubisch raumzentrierten Eisen mit einer Gitterkonstante von a = 2,86 Å würde dies einer Kristallgröße von etwa 100 Å entsprechen. BOZORTH und DILLINGER (9) schließen aus Versuchen über die BARKHAUSENsprünge an ausgeglühtem Eisen auf eine Größe der Elementarbereiche von 10^5 Å. Die gleiche Größenordnung erhält SOLLER (10) aus den „BITTERschen Streifen" (11) auf Eisensiliziumblechen. Der Zusammenhang zwischen innerer Spannung und Koerzitivkraft veranlaßt BECKER (12), eine Ausdehnung von 100 bis 1000 Atomabständen, für Eisen also rund 300 bis 3000 Å anzunehmen.

Auch für die Größenabschätzung der *kleinsten* ferromagnetischen Elementargebiete gibt es eine Reihe von Möglichkeiten. So vermuten FRENKEL und DORFMAN (13) aus energetischen Betrachtungen, daß das Gebiet spontaner Magnetisierung mindestens 10^{12} Atome enthalten muß, was bei Eisen etwa einer Kristallgröße von 10^4 Å entspricht. Wenn diese Überlegung zuträfe, dürften also dünne Aufdampfschichten von Eisen, die im allgemeinen Kristallgrößen von wenigen 100 Å aufweisen, nicht ferromagnetisch sein, was aber keineswegs der Fall ist. BLOCH (14) gelangt in einer theoretischen Untersuchung über die Remanenzerscheinungen zu der Vorstellung, daß die Ausdehnung der *kleinsten* Elementarbereiche eines Ferromagnetikums mindestens gleich der Dicke einer 180°-Wand (Blochwand)*) sein müßte, die er zu etwa 30 Atomabständen berechnet, was bei Eisen nicht ganz 100 Å bedeuten würde. Experimentelle Versuche, eine untere Grenze der Elementarbereichgrößen zu ermitteln, wurden von BEISCHER und WINKEL (15) an Eisen- und Nickelaerosolen angestellt, die durch thermische Zersetzung der Karbonyle in einem hochgereinigten Stickstoffstrom entstanden waren. Unterhalb der Curietemperatur bilden sich faden- und kettenförmige Sedimente, während oberhalb der Curietemperatur keine Kettenbildung mehr auftritt. Die einzelnen Kettenglieder stellen kleine Kristallite dar, die als die ferromagnetischen Elementarbereiche angesehen werden. Ihre Größe und Gestalt wird röntgenographisch aus der Verbreiterung der Interferenzringe im Debye-Scherrer-Diagramm bestimmt. Die kleinsten Kristallite, die bei der Zersetzung des Eisen- und Nickelkarbonyls erhalten werden, haben eine mittlere Größe von 70 Å. Diese Teilchen haben noch ferromagnetische Eigenschaften. Die Untersuchungen wurden von HAUL und SCHOON (16) an γ-Fe_2O_3-Aerosolen, die durch thermische Zersetzung von Eisenkarbonyldampf in Luft erhalten wurden, fortgeführt. Da das Kristallisationsvermögen der Oxyde erheblich kleiner ist als das der Metalle, werden jetzt sehr kleine Kristallite erhalten. Die Kristallitgröße ist abhängig von der Zersetzungstemperatur: niedrige Temperatur führt zur Bildung winziger Kriställchen, deren Suszeptibilität von der Größenordnung derjenigen paramagnetischer Stoffe ist, hohe Temperatur liefert große Kristalle, die ferromagnetischen Charakter haben. Bei einer Kristallitgröße von 30—40 Å findet ein Übergang vom paramagnetischen in den ferromagnetischen Zustand statt. Dieser experimentell gefundene Wert stellt, wie die Verfasser bemerken, die untere Größe der spontan magnetisierten Elementarbezirke für γ-Fe_2O_3 dar.

3. Bevor man die Größe der kleinsten WEISS-

*) Die Dicke einer Schicht, innerhalb derer die Magnetisierungsrichtung um 180° wechselt.

HEISENBERGschen Bezirke des Eisens ermitteln kann, muß erst zu der Frage Stellung genommen werden, ob man die Größe eines ferromagnetischen Elementargebietes mit der Kristallgröße identifizieren darf. Im allgemeinen wird man die Kristallgröße nicht gleich der Größe der ferromagnetischen Elementarbereiche setzen können, da die Richtung der spontanen Magnetisierung nicht nur von Kristallkräften (Kristallenergie) (17) abhängt, sondern auch sehr stark durch mechanische Spannungen (Spannungsenergie) (17) beeinflußt wird. Es wird Fälle geben, wo ein Einkristall aus mehreren Bezirken besteht, deren Magnetisierungsvektoren im wesentlichen durch innere Spannungen festgelegt werden. Andererseits kann der Fall eintreten, daß durch starke Spannungen von außen aus einem polykristallinen Draht ein einziger ferromagnetischer Bezirk entsteht (Permalloydraht unter Zug). Mechanische Verspannungen werden also ebenso wie Kristallkräfte die Ausbildung homogen magnetisierter Bereiche beeinflussen. In dünnen aufgedampften Schichten, wie sie im folgenden zur Untersuchung gelangen, kann man wohl annehmen, daß die Kristallenergie die Richtung der spontanen Magnetisierung vorschreibt und die Spannungsenergie zu vernachlässigen ist, da weder Spannungsdoppelbrechung noch Dichroismus an den Schichten beobachtbar sind. Es ist daher zu vermuten, daß in jedem Einzelkriställchen der Schicht der Magnetisierungsvektor in Würfelkantenrichtung (magnetisch leichte Richtung) liegt und ein Einzelkristall mit einem ferromagnetischen Elementarbereich identisch ist. Wir wollen also die Größenermittlung eines WEISS-HEISENBERGschen Bereiches durch eine Kristallgrößenbestimmung ersetzen.

Die Kristallgröße läßt sich nach SCHERRER (18) aus der Halbwertsbreite von Elektroneninterferenzringen ermitteln, ein Verfahren, das von HAUL und SCHOON (19) in allen Einzelheiten durchgearbeitet wurde und keine wesentlichen Schwierigkeiten macht. Als Kriterium für den ferromagnetischen Zustand bedienen wir uns des ferromagnetischen Faradayeffekts. Als Faradayeffekt bezeichnet man die Erscheinung, daß Materie unter der Einwirkung eines Magnetfeldes die Polarisationsebene des durchgehenden Lichtes dreht. Geläufig ist die Drehung in dia- und paramagnetischen Stoffen: So zeigt eine 1 mm dicke Glasplatte bei einer Kraftflußdichte von 20 000 Gauss $\left(2\frac{\text{Volteek}}{\text{m}^2}\right)$ einen Drehwinkel von etwa 1^0. Würde man diese Glasplatte zu einem Häutchen von 100 Å Dicke ausblasen, so würde seine Drehung nur 10^{-5} Grad betragen, da der Drehwinkel nach dem VERDETschen Gesetz der Dicke proportional ist. So kleine Drehwinkel lassen sich auch mit sehr empfindlichen Halbschattenmethoden nicht mehr messen. Ersetzt man aber das Glashäutchen durch eine gleichdicke Eisenschicht, oder dampft man Eisen in dieser Dicke auf die Glashaut auf, so erhält man wieder Drehwinkel von nicht ganz 1^0. Da man Winkel von $^1/_{100}{}^0$ bequem ablesen kann, bietet dieser ferromagnetische Faradayeffekt somit ein sehr empfindliches Hilfsmittel, den Ferromagnetismus nachzuweisen. Der Drehwinkel ist proportional der Dicke der Schicht und proportional ihrer Magnetisierung. Diesen Zusammenhang nennt man nach KUNDT (20), der erstmalig im Jahre 1884 den Faradayeffekt an ferromagnetischen Folien beobachtet hat, *KUNDTsches Gesetz.*

4. Es ist selbstverständlich, daß die dünnen Eisenschichten nicht nur im Hochvakuum hergestellt, sondern auch alle Messungen bei gutem Vakuum durchgeführt werden müssen, da die Schichten an Luft sofort oxydieren würden. Für die Untersuchungen hat sich die in Fig. 4 im Horizontalschnitt gezeichnete Apparatur gut bewährt. Das Präparat Fe, bestehend aus einer elektronendurchlässigen Haut (Kollodium oder Aluminiumoxyd) von 2 mm Durchmesser, wird von der Aufdampfquelle We aus mit Eisen bedampft und befindet sich zwischen den durchbohrten Polschuhen eines WEISSschen Magneten. Es ist drehbar und nach allen Richtungen verschiebbar am Deckel des Vakuumtopfes V befestigt. Das Präparat befindet sich in der Zeichnung in „Drehungsstellung", zum Aufdampfen wird es um 90^0 gedreht. Die Abdeckscheibe G gestattet flüchtige Bestandteile zu Beginn des Aufdampfprozesses von dem Präparat fernzuhalten. Das Präparat selbst kann im Vakuum auf mehrere 100^0 erwärmt oder mit flüssiger Luft gekühlt werden. Auf diese Weise ist es möglich, den Eisendampf bei verschiedenen Temperaturen zu kondensieren oder die Temperatur der fertigen Schicht nachträglich zu verändern.

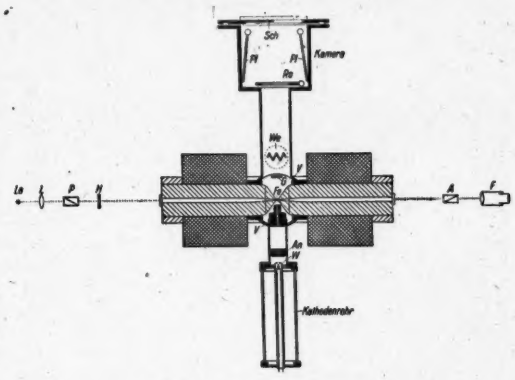


Fig. 4. Versuchsanordnung.

Der optische Teil zur Messung des Faradayeffekts besteht im wesentlichen aus einem LIPPICHschen Polarisationsapparat: Das Licht der Natriumdampflampe La wird von einem Linsensystem L parallel gemacht und durchläuft nacheinander den Polarisator P, das Halbschattensystem H, die Eisenschicht Fe und gelangt schließlich durch den Analysator A in das Fernrohr F, das auf die Trennungslinien des Halbschattensystems scharf eingestellt ist. Der Analysator ist auf einem drehbaren Teilkreis montiert, der an zwei gegenüberliegenden Nonien mit Ablesefernrohren $^1/_{100}{}^0$ abzulesen gestattet. Die Kraftflußdichte des Magneten wurde aus dem Faradayeffekt von Wasser und Benzol ermittelt. Die Polschuhe sind in das Joch des Magneten stramm eingepaßt und in ihrem Mittelteil als Vakuumschliffe ausgebildet. Ihr Längskanal ist auf beiden Seiten mit spannungsfreien Fenstern vakuumdicht verkittet. Auf den Schliffen sitzt aufgekittet der eigentliche Vakuumtopf V, der mit einer zweistufigen Quecksilberdiffusionspumpe ausgepumpt wird.

Mit dem zylindrischen Vakuumtopf aus Messing ist senkrecht zur optischen Achse die Elektronenbeugungsapparatur verlötet. Die Elektronen werden, von der glühenden Haarnadelkathode kommend, zur Anode An beschleunigt. Durch Variieren der Spannung zwischen Wehneltzylinder W und Kathode läßt sich die Elektronenemission steuern. Aus dem Elektronenstrahlbündel wird unmittelbar vor dem zu untersuchenden Präparat ein feines Bündel von 0,07 mm Durchmesser ausgeblendet, das die Eisenschicht trifft. Das entstehende Beugungsbild kann dann auf dem Leuchtschirm Sch beobachtet und durch Hereinklappen je einer der vier Platten Pl aufgenommen werden. Der Leuchtschirm ist halbkreisförmig, verdeckt also nur die eine Fensterhälfte. Durch die andere Hälfte kann die Präparatjustierung und die Temperatur der Aufdampfquelle mittels Pyrometer beobachtet werden. Um eine Belichtung der Platten durch das Licht der Aufdampfquelle zu vermeiden, ist am Kameraeingang ein rotes Fenster Ro angeordnet, das an einem Vakuumschliff aus dem Ge-

sichtsfeld herausgedreht werden kann. Auch die Aufdampfquelle läßt sich über einen Federungskörper nach oben aus dem Gesichtsfeld herausdrehen, so daß das aufzunehmende Beugungsbild nicht gestört wird.

5. Wenn man den Faradayeffekt verschiedener Eisenschichten systematisch untersucht, so stößt man auf zwei ganz verschiedene Arten*) von Eisenschichten, deren eine zur Durchführung unseres Problems besonders geeignet erscheint. Zunächst unterscheiden sich diese beiden Typen in ihrer Herstellung: Die eine Art entsteht, wenn man Eisen von einem glühenden Eisendraht (Klavierdraht von Kahlbaum) verdampft und den Dampf im Laufe von Zehnerminuten auf einer Unterlage (z. B. Kollodiumhaut), die sich auf *Zimmertemperatur* befindet, kondensiert. Das Beugungsbild einer solchen Schicht zeigt *breite* Beugungsringe (Fig. 5a), die Schicht besteht also aus sehr kleinen Kriställchen.

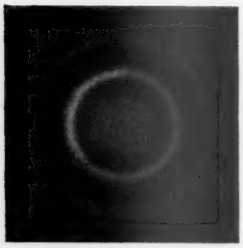


Fig. 5a

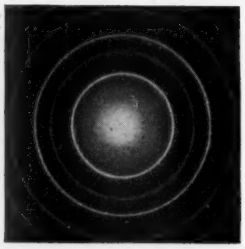


Fig. 5b

Fig. 5. Elektronenbeugungsaufnahme einer auf kalter (a) und heißer (b) Unterlage kondensierten Eisenschicht.

Die andere Art erhält man beim schnellen Verdampfen von vakuumgeschmolzenem Eisen aus einer Wolframwendel, wenn man den Dampf auf einer etwa *300° warmen* Aluminiumoxydhaut kondensiert. Mit Elektronen durchstrahlt, liefert diese Schicht außerordentlich *scharfe* Ringe (Fig. 5b). Übermikroskopische Aufnahmen an solchen Schichten zeigen Kristallgrößen von einigen 100 Å, also für Aufdampfschichten bereits recht große Kriställchen.

Das magnetooptische Verhalten beider Schichten ist nun völlig verschieden: Schicht a**) zeigt ein Drehmögen von etwa 380 000°/cm, was mit den bisher vorliegenden Messungen anderer Autoren gut übereinstimmt. Da der Entmagnetisierungsfaktor einer dünnen Platte N = 1***) ist und die Drehung der Schicht nach dem KUNDTschen Gesetz der Magnetisierung proportional ist, würde man den Sättigungswert der Drehung erst bei einer Kraftflußdichte von etwa 21 000 Gauß $\left(2{,}1\frac{\text{Voltsek}}{\text{m}^2}\right)$ erwarten. Sonderbarerweise sind aber die untersuchten Schichten wie auch die Eisenfolien anderer Verfasser bereits bei Kraftflußdichten von weniger als 10 000 Gauß gesättigt. Es muß daher angenommen werden, daß das N der Schicht nicht 1, sondern wesentlich kleiner als 1 ist, d. h. das Präparat verhält sich kraftflußmäßig gar nicht wie eine dünne Platte.

Ganz anders sind die magnetooptischen Eigenschaften der Schicht b: Ihr Drehvermögen ist mit 765 000°/cm rund doppelt so groß wie dasjenige bisher untersuchter Schichten. Es ist in guter Übereinstimmung mit einem Wert von HULME (21), der für das HEISENBERGsche Modell des ferromagnetischen Körpers die Drehung unter Berücksichtigung der Austauschkräfte wellenmechanisch berechnet. Die Sättigung dieser Schicht erfolgt, wie vorgeschrieben, erst im Gebiet von etwa 21 000 Gauß, woraus zu schließen ist, daß der Entmagnetisierungsfaktor dieser Schicht wirklich 1 ist.

*) Eine ausführliche Arbeit „Faradayeffekt und Aufbau dünner Eisenschichten" wird demnächst an anderer Stelle veröffentlicht werden.

**) Der Einfachheit halber werden die beiden Schichten nach ihren Beugungsbildern mit a und b bezeichnet.

***) In der Literatur ist N meist mit dem Faktor 4π multipliziert.

Auf Grund dieser Ergebnisse machen wir uns über den Aufbau der beiden Schichten folgendes Bild: Die Eisenkristallite der Schicht b werden, sauber aneinandergereiht, eine einigermaßen *gleichmäßig belegte Schicht* bilden, wie sie Fig. 6b schematisch darstellen möge. Die spontane Magnetisierung wird in jedem Kristall in Würfelkantenrichtung liegen, d. h. jeder Kristall wird einen ferromagnetischen Elementarbereich darstellen. Kraftflußmäßig verhält sich diese Schicht wie eine dünne Platte. Ganz anders liegen die Verhältnisse bei einer auf kalter Unterlage entstandenen Schicht (a): Infolge der geringen Beweglichkeit des Eisens bei Zimmertemperatur wird ein Teil der ankommenden Eisenatome gar nicht erst Gelegenheit haben, sich zu größeren Kristallen zu vereinigen, so daß nur *vereinzelte voneinander getrennt liegende WEISS-HEISENBERGsche Bereiche* oder kleine Gruppen

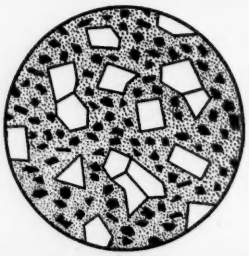


Fig. 6a

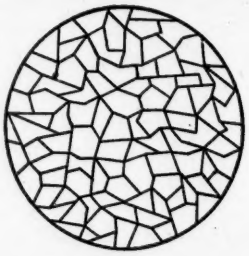


Fig. 6b

Fig. 6. Aufbau einer bei Zimmertemperatur (a) und bei 300° C (b) kondensierten Eisenschicht.

solcher Bereiche entstehen können. Diese ferromagnetischen Bezirke werden nach Art der schematischen Fig. 6a voneinander durch nichtferromagnetisches Eisen (schwarz), das noch aus winzigen Teilchen besteht, die kleiner sind als die kleinsten ferromagnetischen Bereiche, getrennt sein. Auf diese Weise wirkt die Schicht magnetisch nicht mehr als zusammenhängende Fläche, sondern die Abmessungen ihrer Einzelbausteine fangen an eine Rolle zu spielen, was einen kleineren Entmagnetisierungsfaktor der Folie zur Folge hat. Das Drehvermögen der Schicht a ist nur etwa halb so groß wie dasjenige der Schicht b, weil rund die Hälfte des in der Schicht vorhandenen Eisens an der Drehung nicht beteiligt ist, da es noch nicht aus ferromagnetischen Elementarbereichen besteht. Auch dieses Eisen kann man zur Drehung veranlassen, wenn man die Schicht im Vakuum auf einige 100° erwärmt. Nach dem Wiederabkühlen auf Zimmertemperatur hat dann die Drehung um 30—40 % zugenommen. Gleichzeitig sind die Ringe im Elektronenbeugungsbild schärfer geworden, d. h. durch eine einfache Sammelkristallisation haben sich kleine nichtferromagnetische Teilchen zusammengelagert und sind zu ferromagnetischen Bereichen geworden, die nun den Drehwinkel vergrößern. Hier haben wir also den Übergang vom paramagnetischen in den ferromagnetischen Zustand unmittelbar vor uns und haben ihn nur sorgfältig auszuwerten.

6. Fängt man den Eisendampf nicht bei Zimmertemperatur auf, sondern kondensiert man den Dampf auf einer mit flüssiger Luft gekühlten Kollodiumhaut, so ist das Drehvermögen der Schicht noch erheblich kleiner als bei Schicht a, und man kann durch Tempern im Vakuum eine Zunahme der Drehung um den Faktor 5 bis 10 erwirken. Wählt man die Schicht dünn genug, so lassen sich auf diese Weise Eisenschichten herstellen, die zunächst keinerlei Faradayeffekt zeigen, also aus Teilchen aufgebaut sind, die kleiner sind als die uns interessierenden kleinsten ferromagnetischen Elementarbereiche. Erst nach Erwärmung der Schicht (Verdampfen der flüssigen Luft) im Vakuum setzt Drehung ein. Sowie man die erste meßbare Drehung feststellen

kann, wird die mittlere Kristallgröße im Elektronenbeugungsbild festgehalten. Durch wiederholte Versuche kann man auf diese Weise feststellen, bei welcher mittleren Kristallgröße das Einsetzen des Ferromagnetismus erfolgt.

Es muß noch gesagt werden, daß von einer mit flüssiger Luft gekühlten Schicht nicht ohne weiteres Elektronenbeugungsaufnahmen hergestellt werden können, da sich die Schicht ohne besondere Vorsichtsmaßnahmen in wenigen Minuten mit einer für Elektronen undurchlässigen dicken Deckschicht (22) überziehen würde. Die Bildung einer Deckschicht läßt sich vermeiden, wenn man die zu untersuchende Folie mit einer Schutzkammer (23) umgibt, deren Wände kälter sind als die Folie selbst. Da man aber in dieser Kammer kleine Fenster anbringen muß, läßt sich die Kondensation von Fremdmolekülen auf der kalten Präparatschicht dennoch nicht ganz vermeiden. Im Laufe der Zeit bilden sich bei Elektronendurchstrahlung einer mit flüssiger Luft gekühlten Kollodiumhaut auch mit einer Schutzkammer auf dem Beugungsbild scharfe Ringsysteme aus, deren Auswertung Aussagen über die Art der kondensierten Stoffe zu machen gestattet. Ein häufig gefundenes Ringsystem ist orthorhombisch und ist Fetten zuzuordnen, die mit ihrer langen Molekülachse senkrecht zur Unterlage stehen. Ein anderes scharfes Ringsystem zeigt Diamanttyp und ist einer neuen Eismodifikation (24) (Cristobaliteis) zuzuschreiben, die nur unterhalb von —70° C stabil ist und inzwischen auch makroskopisch von RAU (25) bestätigt wurde. Beide Ringsysteme würden natürlich eine Halbwertsbreitenbestimmung an Eiseninterferenzringen empfindlich stören, man muß sie also zu verhindern suchen: Das Fettdiagramm entsteht nicht, wenn man Vakuumfett an Schliffen und Durchführungen so sparsam anwendet, daß im Inneren der Apparatur Fettwülste vermieden werden. Zum Dichten unbeweglicher Schliffe hat sich dabei besonders weiches Wachs Q von Leybold bewährt. Die Kondensation von Wasserdampf auf dem Präparat läßt sich durch intensive Trocknung mit P_2O_5 und Ausfrieren mit gekühlter Adsorptionskohle weitestgehend unterdrücken.

Bei Berücksichtigung dieser Vorsichtsmaßnahmen konnte aus 20 verschiedenen Eisenschichten für die *kleinste* mittlere Kristallgröße, bei der eine meßbare Drehung festzustellen ist, 10—12 Å ermittelt werden. *Man muß daraus schließen, daß die kleinsten ferromagnetischen Eisenkristalle und damit die kleinsten WEISS-HEISENBERGschen Bereiche eine Kantenlänge von 10 bis 12 Å besitzen.* Erst bei dieser Kristallgröße kommen die Austauschkräfte zur Wirkung und die spontane Magnetisierung setzt ein. Bei γ-Fe_2O_3 beginnt der Ferromagnetismus erst bei viel größeren Teilchen wirksam zu werden. Nach HAUL und SCHOON (26) wächst die paramagnetische Suszeptibilität erst bei Kristallgrößen von 30—40 Å zu den großen Werten der ferromagnetischen Stoffe an. Diese scheinbare Diskrepanz ist leicht zu beseitigen, wenn man die Kristallgröße in beiden Fällen in Elementarzellen angibt. Eisen (a = 2,86 Å) sowohl als auch γ-Fe_2O_3 (a = 8,3 Å) werden dann bei einer Kristallgröße von rund 4 Elementarzellen längs einer Würfelkante ferromagnetisch. Es sind also mindestens 64 Elementarzellen erforderlich, um einen WEISS-HEISENBERGschen Bezirk zu bilden. Ein solcher Bereich ist in Fig. 7 schematisch gezeichnet. Wenn man die Oberflächenatome, als für die Spinkopplung unwesentlich, sich entfernt denkt, würde ein kleiner Kristallkeim aus 8 Elementarzellen (in Fig. 7 punktiert) übrig bleiben, der nun wirklich nur aus nach

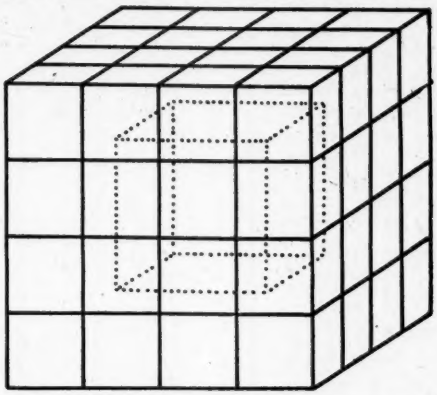


Fig. 7. Schematische Darstellung des kleinsten ferromagnetischen Elementarbereichs von Eisen.

allen Seiten abgesättigten Atomen aufgebaut ist. Ein solcher Körper scheint auch des öfteren als kleinster Kristallkeim (27) aufzutreten. —

Die Untersuchungen wurden in Danzig begonnen, und in Göttingen fortgeführt. Den Herren Professoren E. BUCHWALD, W. KOSSEL und R. W. POHL möchte ich für ihr reges Interesse an der Arbeit herzlichen Dank sagen.

Göttingen, I. Physikalisches Institut der Universität.

Eingegangen 31. VII. 46.

Literatur.

1. P. WEISS, Journ. de phys. (4) **6**, 661 (1907). — 2. H. BARKHAUSEN, Phys. Zs. **20**, 401 (1919). — 3. W. HEISENBERG, Zs. f. Phys. **49**, 619 (1928). — 4. G. HELLER u. H. A. KRAMERS, Proc. Amsterdam **37**, 378 (1934). — 5. I. ANTIK u. T. KUBYSCHKINA, Wiss. Ber. Univ. Moskau, **2**, 143 (1934). — 6. R. HAUL u. TH. SCHOON, Zs. f. Elektrochem. **45**, 663 (1939). — 7. F. BITTER, Phys. Rev. **37**, 91, 1176 u. 1679 (1931). — 8. F. ZWICKY, Helvetica Physica Acta, **3**, 269 (1930). — 9. R. M. BOZORTH u. J. F. DILLINGER, Phys. Rev. **35**, 733 (1930). — 10. TH. SOLLER, Zs. f. Phys. **106**, 485 (1937). — 11. Siehe R. BECKER u. W. DÖRING, Ferromagnetismus, Berlin 1939, S. 331. — 12. R. BECKER, Phys. Zs. **33**, 905 (1932). — 13. J. FRENKEL u. J. DORFMAN, Nature **126**, 274 (1930). — 14. S. BLOCH, Zs. f. Phys. **74**, 295 (1932). — 15. D. BEISCHER u. A. WINKEL, Naturwissensch. **25**, 420 (1937). — 16. R. HAUL u. TH. SCHOON, Zs. f. Elektrochem. **45**, 663 (1939). — 17. Über die Begriffe „Kristallenergie" und „Spannungsenergie", siehe R. BECKER und W. DÖRING, Ferromagnetismus, Berlin, 1939, S. 101; R. BECKER, Phys. Zs. **33**, 905 (1932). — 18. P. SCHERRER, Göttinger Nachrichten 1918, S. 98. — 19. R. HAUL u. TH. SCHOON, Zs. f. Elektrochem. **45**, 663 (1939); Zs. f. phys. Chem. (B) **44**, 109 (1939). — 20. A. KUNDT, Wied. Ann. **23**, 228 (1884) u. **27**, 191 (1886). — 21. H. R. HULME, Proc. Roy. Soc. London, **135**, 237 (1932). — 22. G. HASS, Die Naturw. **25**, 232 (1937); Ann. Phys. **31**, 245 (1938). — 23. M. J. GEN. J. ZELMANOFF u. A. J. SCHALNIKOFF, Phys. Zs. d. Sowjetunion **4**, 825 (1933); G. HASS, a. a. O. — 24. H. KÖNIG, Nachr. d. Ak. d. Wiss. in Göttingen, Math. Phys. Kl. 1, 1942 u. Zs. f. Krist. **105**, 279 (1943). — 25. W. RAU, Schriften d. deutsch. Ak. d. Luftfahrtforschg. **8**, 65, (1944). — 26. R. HAUL u. TH. SCHOON, Zs. f. Elektrochem. **45**, 663 (1939). — 27. P. A. THIESSEN, Zs. f. anorg. Chem. **180**, 110 (1929) (Gold). TH. SCHOON u. R. HAUL, Zs. f. phys. Chem. (B) **44**, 109 (1939).

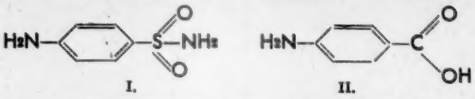
Ergebnisse und Probleme der Mitosegiftforschung.

Von HANS LETTRÉ.

I. Allgemeines über Mitosegifte[1]).

Die Biochemie der letzten Jahrzehnte hat sich besonders eingehend mit Wirkstoffen beschäftigt, die für den Ablauf der Lebensvorgänge unbedingt notwendig sind. Die Untersuchungen an tierischen Organismen führten zur Auffindung der Vitamine und Hormone, deren Beziehungen zu den Wirkgruppen von Fermenten aufgedeckt wurden, an pflanzlichen Objekten wurden besondere Wuchsstoffe gefunden und im Falle des Wachstums der Bakterien ist die Abhängigkeit von den notwendigen Nähr- und Wirkstoffen soweit geklärt worden, daß es möglich ist, Bakterien in einem Medium zu züchten, das vollständig aus synthetischen Nähr- und Wirkstoffen zusammengesetzt ist. Diese Untersuchungen lieferten die Grundlage zu der Feststellung, daß einige auf empirischem Wege gefundene Hemmstoffe des bak-

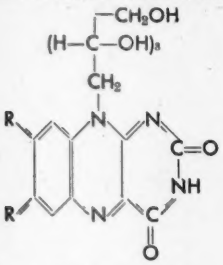
teriellen Wachstums als Antagonisten zu einem notwendigen Wirkstoff fungieren, etwa die Sulfonamide (Formel I) gegen die p-Aminobenzoesäure (Formel II)[2]).



I. II.

Das resultierende Wachstum wird durch die relative Menge von Wirkstoff und Hemmstoff bestimmt, die sich nach den Gesetzen des chemischen Gleichgewichts wechselseitig verdrängen können. Auf diesem Prinzip fußend konnte R. KUHN[3]) z. B. im 6,7-Dichlorriboflavin (Formel III) einen Antagonisten zu dem Wirkstoff Lactoflavin (Formel IV) finden und weitere Beispiele wie Pantothensäure und Sulfopantothensäure lassen die Annahme begründet erscheinen, daß zu jedem notwendigen Wirkstoff ein entsprechender Hemmstoff gefunden werden kann.

Im Falle des Wachstums der tierischen Zelle sind



III. R = Chlor; IV. R = Methyl.

die Vorarbeiten für die Analyse der notwendigen Nähr- und Wirkstoffe noch nicht so weit fortgeschritten, daß gleichartige klare Voraussetzungen für die Deutung der Wirkung empirisch gefundener Hemmstoffe gegeben wären. Die Methode der Gewebezüchtung[4]) gestattet es zwar, tierische Zellen außerhalb des Organismus zu züchten und so ein der Analyse leichter zugängliches System zu schaffen, aber von der Lösung der Frage der unbegrenzten Züchtung tierischer Zellen in einem Medium mit genau definierten Nähr- und Wirkstoffen sind wir noch weit entfernt. Die Zellen werden in einem Medium kultiviert, das aus tierischem Plasma, einem Extrakt aus tierischen Embryonen und aus einer Mineralsalzlösung besteht, also im wesentlichen in biologischen Medien, deren Zusammensetzung nur teilweise bekannt ist. ALBERT FISCHER[5]) hat vor einiger Zeit Untersuchungen über die Bedeutung einiger Bestandteile des Embryonalextraktes für das Zellwachstum mitgeteilt. Im Ganzen gesehen ist aber im Falle der Gewebezüchtung die Situation heute noch so, wie sie im Falle des bakteriellen Wachstums war, als ROBERT KOCH die Methode der Züchtung von Bakterien auf einer Nährbouillon entwickelte, aus der heraus die heutige biochemische Analyse der Hemmstoffwirkung schwerlich möglich gewesen wäre. Wenn wir in Tabelle 1 sehen, wie kompliziert die Zusammensetzung der Nährlösung für ein Bakterium sein kann, so werden wir annehmen können, daß für das System einer tierischen Zelle sicherlich eine noch größere Zahl von Faktoren notwendig sein wird (vergleiche Tabelle 2: Zusammensetzung eines künstlichen Kulturmediums, das z. T. definierte Substrate enthält). Trotzdem bedeutet die Methode der Gewebezüchtung bei ihrem gegenwärtigen Stande für das Problem der Beeinflussung des Wachstums der tierischen Zelle einen großen Fortschritt, da hier die tierische Zelle frei von den über- und nebengeordneten Einflüssen des Gesamtorganismus untersucht werden kann und somit eine klare Versuchsanordnung gegeben ist.

Das Wachstum der tierischen Zelle vollzieht sich in zwei wesentlichen Phasen: eine durch Teilung entstandene Zelle führt in der sog. Ruhe- oder Interphase

Tabelle 1. Nährlösung für Streptobacterium plantarum (ORLA JENSEN) nach R. KUHN, MÜLLER und SCHWARZ, Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft **74**, 1612, 1617 (1941).

	Konzentration in g/ccm
Ammoniumacetat	$6{,}42 \cdot 10^{-3}$
Dinatriumphosphat 2 H_2O	$1{,}25 \cdot 10^{-3}$
Monokaliumphosphat	$0{,}83 \cdot 10^{-3}$
Magnesiumsulfat 7 H_2O	$0{,}42 \cdot 10^{-3}$
Ferricitrat	$0{,}42 \cdot 10^{-4}$
Mangan-II-chlorid 4 H_2O	$1{,}25 \cdot 10^{-5}$
Glukose	$2 \cdot 10^{-2}$
l-Cystein-HCl	$0{,}8 \cdot 10^{-4}$
d,l-Methionin	$0{,}5 \cdot 10^{-4}$
Glykokoll	$5 \cdot 10^{-4}$
d,l-Alanin	$5 \cdot 10^{-4}$
d,l-Valin	$5 \cdot 10^{-4}$
d,l-Leucin	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$
d,l-Isoleucin	$1 \cdot 10^{-4}$
d,l-Phenylalanin	$5 \cdot 10^{-4}$
l-Tryptophan	$1 \cdot 10^{-4}$
d,l-Asparaginsäure	$5 \cdot 10^{-4}$
l-Glutaminsäure	$5 \cdot 10^{-4}$
Aneurinchlorid-HCl	$1 \cdot 10^{-7}$
Adermin-HCl	$2 \cdot 10^{-8}$
Nicotinsäure	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$
Adeninsulfat	$4{,}3 \cdot 10^{-5}$
Biotinmethylester	$2 \cdot 10^{-9}$
(+)-Pantothensaures Ba	$6 \cdot 10^{-8}$
p-Aminobenzoesäure	$1{,}66 \cdot 10^{-8}$

Tabelle 2. Künstliches Kulturmedium für Fibroblasten nach L. E. BAKER (Sience 1936). Im Witte-Pepton und im homologen Serum (Serum der gleichen Tierart wie die in vitro gezüchteten Zellen) sind noch undefinierte Bestandteile gegeben.

Wasser	100	ccm
NaCl	720	mg
KCl	18	mg
$CaCl_2$	18	mg
$MgCl_2$ (6 H_2O)	9	mg
NaH_2PO_4	4,5	mg
$NaHCO_3$	100	mg
Glukose	100	mg
Witte-Pepton	675	mg
homologes Serum	10	ccm
Cystein	9	mg
Glutathion	1	mg
Hämin	0,0036	mg
Thyroxin	0,09	mg
Insulin	0,09	Einheiten
Vitamin A	1000	Einheiten
Vitamin D	15—30	Einheiten
Vitamin C	0,25	mg

ihren Stoffaufbau soweit durch, daß sie zu einer neuen Teilung befähigt ist, die sie in der Phase der Mitose oder indirekten Kernteilung durchführt. Bei in vitro gezüchteten Zellen liegt die Zeitdauer der Ruhephase in der Größenordnung von einem Tage, die der Mitosephase von einer Stunde. In der Ruhephase als Aufbauphase ist die fermentative Tätigkeit der Bestandteile des Zellplasmas von besonderer Bedeutung, während die Kern- und Zellteilung als Ergebnis der fermentativen Vorarbeit der Ruhephase mit ihrem besonderen Mechanismus abläuft. Das Mitosestadium läßt sich wieder in verschiedenen Phasen unterteilen, die durch den verschiedenen Stand der Chromosomenverteilung charakterisiert sind: beispielsweise die Prophase mit dem ersten Auftreten färbbarer Kernbestandteile, die Metaphase, in der die Chromosonen in der Äquatorialplatte in der Mitte der Zelle geordnet werden, die Anaphase, in der die Chromosomen zu den Polen wandern und die Telophase, in der die Trennung in zwei neue Zellen durchgeführt wird. In den Fig. 1—4 sind solche Teilungsphasen an Zellen aus Gewebekulturen des Ehrlich'schen Mäusecarcinoms dargestellt.

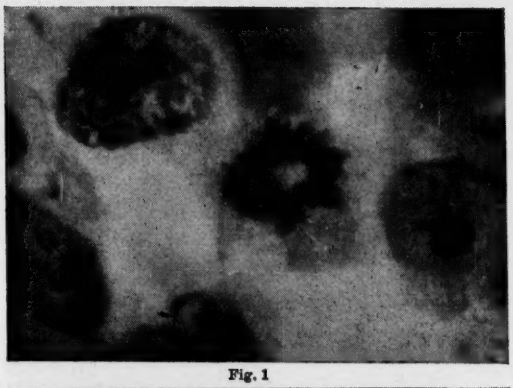


Fig. 1

Fig. 2

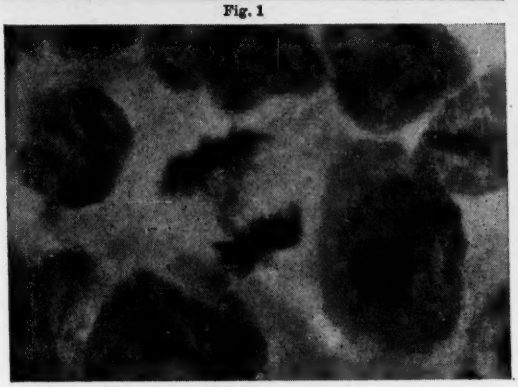


Fig. 3

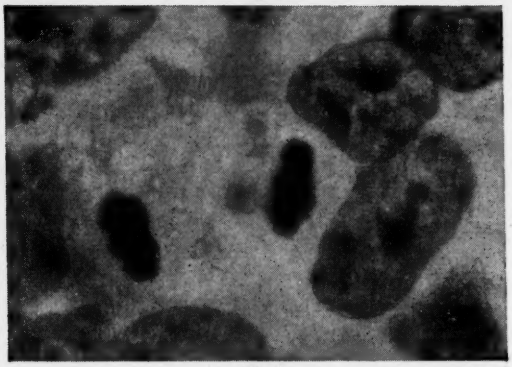


Fig. 4

Fig. 1—4. Mitosephasen von Zellen des Ehrlich'schen Mäuse-carcinoms in der Gewebekultur. Normales Nährmedium. 1 und 2: Metaphasen. 3· Anaphase. 4: Telophase.

Chemische Faktoren, die man dem Medium der Gewebekulturen zufügt, können eine Wirkung auf das Wachstum der Zelle nun in einer der beiden Phasen entfalten: „Plasmagifte", die an Bestandteilen des Zellplasmas, vor allem fermentativen Systemen, angreifen oder „Kerngifte", die in den speziellen Mechanismus der Teilung, Ordnung und Auseinanderführung der Chromosomen und der Zellteilung eingreifen. BROCK, DRUCKREY und HERKEN[6]) haben eine Anzahl von Stoffen am Seeigelei hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Zellstoffwechsel einerseits , auf die Kern- und Zellteilung andererseits miteinander verglichen (Tabelle 3). Aus der Tabelle ersieht man, daß Colchicin, das Alkaloid der Herbstzeitlosen, mit über 1500 γ/ccm noch keine Wirkung auf den Stoffwechsel, aber schon mit 1,5 γ/ccm auf die Zellteilung hat. Als anderes Extrem erscheint das Veratrin, das Alkaloid des Sabadillsamens, das mit 50 γ/ccm den Stoffwechsel schädigt, aber erst mit 500 γ/ccm die Zellteilung beeinflußt. Zwischen diesen Extremen liegen die anderen Stoffe, bei denen Wirkung auf Stoffwechsel und Zellteilung verschoben sind, so daß die Begriffe Kern- oder Mitosegift und Plasmagift nur Grenzfälle darstellen. Von den Kerngiften schreibt CHODKOWSKY[7]): „Zweifellos ist die schädliche Wirkung dieser Gifte auf das Zellprotoplasma nicht auszuschließen. Die im Plasma hervorgerufenen Veränderungen sind jedoch weitaus weniger deutlich und nicht so sichtbar wie im Bereich des Zellkerns. Daher muß diese Bezeichnung als treffend angesehen werden."

Das hier als nahezu selektives Kerngift erkannte Colchicin ist schon 1934 von dem belgischen Pathologen A. P. DUSTIN[8]) unter die von ihm bearbeiteten „karyoklastischen Gifte" eingereiht worden[9]). In seinen Untersuchungen über die Histophysiologie der Thymus hat DUSTIN festgestellt, daß zahlreiche äußere Bedingungen Zellveränderungen in diesem Organ hervorrufen: Hunger, Kachexie, Vereiterungen, Pubertät bewirken Involution der Thymus unter pyknotischer Degeneration der Thymocyten. Diese Befunde veranlaßten DUSTIN nach chemischen Faktoren zu suchen, welche die Wirkung dieser äußeren oder physiologischen Bedingungen deuten könnten. Die Tatsache, daß im Hungerzustand eine Acidose im Organismus herrscht, regte zur Prüfung der Wirkung einer Injektion von Säuren an: DUSTIN beobachtete einen gleichartigen Effekt. Der gleiche Effekt ließ sich aber auch durch die Gabe von Basen erzielen und DUSTIN fand, daß Störungen des Mitoseablaufs im Organismus (nicht nur in der Thymus) durch die verschiedenartigsten Stoffe bedingt werden: Metallsalze (Ni, Co, Zn, Au, Hg, Tl, Pb, Bi), Kakodylat, Atoxyl, Arsensäure, Alkohol, Chloralhydrat, Benzol, Diphenol, Farbstoffe wie Trypaflavin, Trypanblau, Isaminblau, Malachitgrün, Brillantgrün, Alkaloide wie Colchicin, Morphin und Codein, artfremdes Eiweiß, Pepton und

Tabelle 3. Konzentration in γ/ccm.

	Stoffwechsel-wirkung	Hemmung der Zellteilung
Colchicin	1 500	1,5
Cholestenonsulfosaures Natrium	1 000	5
Nicotin	10 000	165
Kephalin	60	1,5
Coffein	3 000	500
Emetin	100	5
Sublimat	30	1,5
Allylformiat	2 000	200
Ammoniak	n/25	n/250
Phenylurethan	800	165
Chinin	400	125
Saponin	100	100
Arsenik	100	150
Natronlauge	n/200	n/120
Pepton	600	3 000
Säuren	n/7 000	n/500
Veratrin	50	500

Bakterien-Toxine (Diphtherie-, Scharlach-, Staphylokokken- und Typhus-Toxin). Diese Stoffe bezeichnet DUSTIN als „poisons caryoclasiques". Aus seinen Versuchen ist aber nicht zu ersehen, ob es sich bei den an der Thymus und anderen Organen beobachteten Effekten um eine Wirkung der Stoffe selbst handelt oder aber um die Auslösung eines Mechanismus, bei dem der Organismus den Effekt auf die Kernteilung mit Hilfe anderer Wirkstoffe herbeiführt, so wie die Deutung der Wirkung von Hunger, Kachexie, Vereiterung und Pubertät durch die Auffindung der zahlreichen karyoklastischen Gifte nicht beantwortet ist. Die karyoklastischen Krisen nach DUSTIN erinnern an den Symptomenkomplex, den SELYE[10]) als „Alarm-Reaktion" bezeichnet, der sich nach Noxen wie Kälte, Trauma, Nervenreizen, toxischen Dosen verschiedener Pharmaka oder erschöpfender Muskelarbeit ausbildet und z. B. durch Involution der Thymus gekennzeichnet ist. Durch die Prüfung der chemischen Faktoren an Zellen in der Gewebekultur läßt sich ein Entscheid über eine direkte oder indirekte Wirkung der Stoffe herbeiführen, da an den Zellen in vitro die Beteiligung des Organismus wegfällt. LUDFORD[11]), der zuerst die Prüfung „karyoklastischer Gifte" an der Gewebekultur durchführte, fand, daß Colchicin, Kakodylat und Trypaflavin auch am Explantat wirksam sind. Nach meinen Untersuchungen sind aber p_H-Änderungen nach der sauren oder alkalischen Seite innerhalb der praktisch möglichen Grenzen, artfremdes Eiweiß, Farbstoffe wie Trypanblau[12]) und Isaminblau, Metallsalze, Alkaloide wie Morphin und Codein keine Faktoren, die an der Gewebekultur wie Colchicin wirken. Man muß die von DUSTIN beschriebenen karyoklastischen Gifte demnach in zwei Gruppen einteilen: 1. eine Gruppe, die nur im lebenden Organismus die Phänomene der Mitosegiftwirkung auslöst, also indirekt wirkt, und 2. eine Gruppe, die im Organismus und an der isolierten Zelle wirksam ist, also eine direkte Zellwirkung besitzt. Die Auslösung karyoklastischer Krisen durch Faktoren, die keine direkte Zellwirkung haben, stellt einen unmittelbaren Hinweis für die Existenz körpereigener Mitosegifte dar, zu deren Vorhandensein ich durch die Feststellung einer direkten Mitosegiftwirkung hormonaler Faktoren (Adrenalin, Follikelhormon)[13]) geführt wurde. Vielleicht sollte man den von LUDFORD[11]) geprägten Namen „mitotic poisons", Mitosegifte, in der Gegenüberstellung zu den karyoklastischen Giften nach DUSTIN nur den Faktoren der zweiten Gruppe vorbehalten, für die eine direkte Zellwirkung festgestellt ist.

Die Vielzahl der Stoffe, die DUSTIN gefunden hat, und ihr im chemischen Sinne heterogener Aufbau möchte zunächst den Eindruck erwecken, als ob es sich um ein ganz unspezifisches Phänomen handele. Durch die Aussonderung der indirekt wirkenden Mitosegifte reduziert sich die Zahl der Faktoren beträchtlich. Neben dem Colchicin und davon abgeleiteten Stoffen sind im Trypaflavin und den Kakodylaten chemisch ganz andersartige Faktoren mit gleicher Wirkung gegeben, was C. DITTMAR und H. MASS[14]) zu der Äußerung veranlaßt: „Bei der Verschiedenheit der chemischen Verbindungen, die den gleichen Vorgang auslösen, muß es sich um eine unspezifische Schädigung der Zellen handeln". Nach DUSTIN und nach O. BUCHER[15]) unterscheidet sich Trypaflavin im Wirkungsmechanismus vom Colchicin. Diese Wirkungsunterschiede lassen sich sehr schön nach H. BRODERSEN[16]) mit Hilfe des Mäuse-Ascites-Tumors nachweisen. In Probepunktionen des Ascites wird im Ausstrichpräparat in zeitlichen Abständen die Mitosezahl festgestellt, die in einem unbehandelten Tumor praktisch konstant bleibt. Bei einem mit Colchicin behandelten Tier steigt die Zahl der Mitosen von 3 pC im Laufe einiger Stunden auf 10 pC, um in 24 Stunden wieder zur Norm zurückzukehren (vgl. Fig. 5). Da Colchicin in niederen Dosen den Beginn der Mitosen nicht hemmt, sondern nur spätere Phasen, kommt es zu einer Ansammlung von in der Mitose arretierten Zellen. Im Ge-

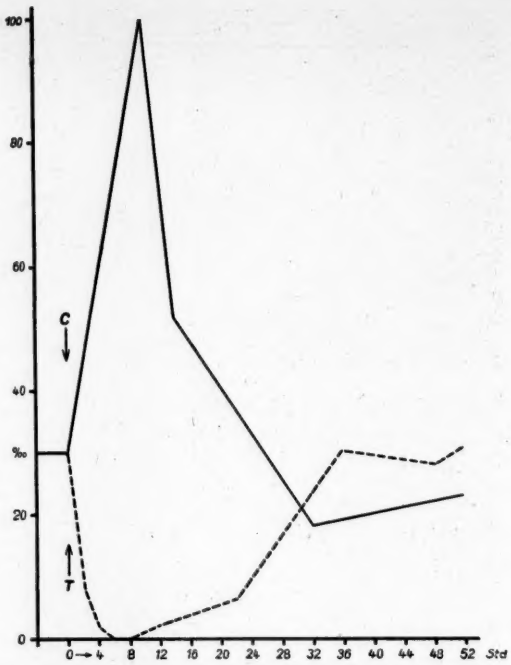


Fig. 5. Änderung der Zahl der Mitosen im Ascites-Tumor nach Injektion von Colchicin (C) und von Trypaflavin (T).

gensatz hierzu erfolgt nach der Trypaflavininjektion ein Absturz der Zahl der Mitosen auf Null — an ihre Stelle treten Zellen mit pyknotischen Kernen — und ein allmählicher Wiederanstieg zur Norm, also ein ganz anderer Wirkungsmechanismus, der durch ein Eingreifen in frühe Phasen zu deuten ist. Die von mir früher angegebene Wachstumshemmung des Mäuse-Ascites-Tumors durch Trypaflavin[17]) unterscheidet sich also in ihrem Mechanismus von der durch Colchicin[18]) erzielten, was in der Testmethode der Bestimmung der Gewichtsänderung nicht zum Ausdruck kommt. So müssen wir also bei den chemisch verschiedenartigen Mitosegiften auch die verschiedenen Angriffspunkte innerhalb der Mitosephase unterscheiden. Aber auch prinzipiell bedarf der Begriff der Spezifität oder Unspezifität, da er nicht scharf definiert[19]) ist, einer sehr vorsichtigen Anwendung. Die Erfahrungen über die Hemmstoffe des bakteriellen Wachstums zeigen, daß mit steigender Zahl der notwendigen Wirkstoffe auch die Zahl der möglichen Hemmstoffe steigt. Je komplizierter also ein biologisches System ist und je mehr Wirkstoffe es benötigt, umso größer wird die Zahl der Hemmstoffe werden, die ebenso wie die Wirkstoffe untereinander in ihrem chemischen Aufbau stark abweichen können. Wenn wir eine Unspezifität nur dadurch definieren wollten, daß der gleiche Effekt durch verschiedenartige Stoffe erzielt wird, so würden wir zu dem paradoxen Ergebnis kommen, daß ein Effekt umso unspezifischer erscheint, je spezifischer die Angriffspunkte werden. Gerade auf dem Gebiet der Hemmstoffe des Wachstums der tierischen Zelle besteht die begründete Aussicht, daß sich die Zahl der möglichen Hemmstoffe noch wesentlich vergrößern wird, vor allem wenn wir noch neue spezifische Wuchsfaktoren kennen lernen.

DUSTIN hat das von ihm erschlossene Forschungsgebiet als eine „Zelltoxikologie" charakterisiert, aber er hat auch schon erkannt, daß die Mitosegifte eine Wirkung gegen pathologische Zellarten starker Teilungsfähigkeit, also Krebszellen, besitzen und daß diese Stoffe therapeutisch verwendet werden könnten, eine Sachlage, die eher die Bezeichnung „Zellpharmakologie" begründet

erscheinen ließe. Da eine Beeinflussung der Zellteilung auch durch hormonale Faktoren stattfindet, würde es sich auch um einen Zweig der „Zellphysiologie" handeln. So wie aber die Grenzen zwischen Toxikologie, Pharmakologie und Physiologie (chemischer Richtung) fließend geworden sind, so sind auch auf dem Gebiet der Wirkung chemischer Faktoren auf die Zelle und das Zellgeschehen alle Möglichkeiten der Variationen der chemischen Faktoren von körpereigenen Stoffen, Naturstoffen bis zu körperfremden Stoffen der Reagenzglassynthese möglich. In seiner Mittelstellung läßt der Ausdruck „Zellpharmakologie" am ehesten die Möglichkeit der Erweiterung nach allen Richtungen offen.

Die Zellpharmakologie befaßt sich also mit den oben definierten Kerngiften und Plasmagiften. Obschon unter den Plasmagiften z. B. in den auf immunbiologischem Wege gewinnbaren Cytotoxinen oder in Stoffen wie den Blastokolinen[20]) Faktoren von großem physiologischem Interesse gegeben sind, so sollen im folgenden doch nur die Ergebnisse an Kerngiften besprochen werden. Von diesen haben für eine chemische Variation natürlich nur diejenigen Bedeutung, von denen eine direkte Zellwirkung sichergestellt ist. Die bis heute eingehender untersuchten Typen sind die metallorganischen Verbindungen, Trypaflavin, Colchicin und davon abgeleitete Substanzen.

II. Konstitution und Mitosegiftwirkung.

A. Metallorganische Verbindungen.

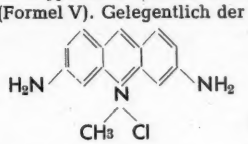
DUSTIN hatte nachgewiesen, daß arsenorganische Verbindungen wie die Kakodylate $(CH_3)_2AsO_2Na$ oder Atoxyl, das p-amino-phenylarsinsaure Natrium, als karyoklastische Gifte wirken und LUDFORD hatte die direkte Zellwirkung des Kadodylats an der Gewebekultur festgestellt. Ich bin von ganz anderer Seite zu der Prüfung der metallorganischen Verbindungen gekommen: Herr Prof. A. KLAGES, Göttingen, wies mich darauf hin, daß quecksilberorganische Verbindungen, die er auf ihre Verwendung als Saatgutbeizmittel untersucht hatte, an keimenden Pflanzen Veränderungen bewirken, die dem 1937 von BLAKESLEE[21]) mit Colchicin erzielten Effekt der Polyploidisierung entsprechen. Wir haben Anfang 1943 begonnen, eine Reihe von quecksilberorganischen Verbindungen, die uns Herr KLAGES zur Verfügung stellte, an der Gewebekultur zu prüfen und tatsächlich mit den meisten Verbindungen eine Mitosegiftwirkung beobachtet. In einer kurzen Publikation über diesen Gegenstand führt KLAGES[22]) aus, daß er nach dem Urteil von GASSNER[23]) schon 1927 die äußeren Phänomene der Polyploidisierung durch chemische Faktoren beobachtet hat[24]), deren cytologische Aufklärung erst später erfolgte. THOMAS und DREWS[25]) beschreiben 1943 die polyploidisierende Wirkung von Quecksilber-äthylchlorid. In unseren Versuchen zeigte sich, daß Verbindungen vom Typus R-Hg-X als Mitosegifte fungieren, wenn R einen aliphatischen (von Methyl bis zum Heptyl geprüft) oder aromatischen Rest darstellt und X ein Anion (Chlor, Brom, organische Säuren oder Phenole), das die Wirksamkeit qualitativ wenig beeinflußt. Die Wirksamkeit liegt zwischen 2—5 γ/ccm. Quecksilbersalze wie Sublimat, Mercuriacetat und das Cyanid zeigten keine Mitosegiftwirkung.

Im Anschluß daran haben wir analoge Verbindungen anderer Metalle dargestellt und auf ihre Wirkung geprüft[26]). Bei den bisher untersuchten Metallen Blei, Wismut, Arsen, Antimon und Zinn zeigten die Verbindungen, die gleichzeitig organische Reste und Anionen am Metall besitzen, eine Mitosegiftwirkung. Die entsprechenden Salze und die vollständig mit organischen Resten substituierten Verbindungen wie Bleitetraphenyl waren ohne Wirkung. Die Deutung dieses unterschiedlichen Verhaltens der Metalle je nach ihrer Bindungsart sehe ich darin, daß hier die „Mitosegiftwirkung" in einer Umsetzung mit Nucleinsäuren oder Nucleoproteiden, die wesentliche Bestandteile der Chromosomensubstanz sind, ihre Ursache hat. Nucleinsäuren und Nucleoproteide bilden mit Schwermetallen schwerlösliche Produkte, die auch mit den metallorganischen Verbindungen durch Salzbildung, Komplexbildung oder Reaktion mit SH-Gruppen innerhalb der Zelle entstehen können. Die Kräfte, die normalerweise die Trennung der Chromosomen bewirken (siehe [27])), reichen nicht aus, um auch die geordnete Auseinanderführung der Metallverbindungen der Chromosomen zu bewerkstelligen. Wenn dieser Mechanismus der Wirkung zugrundeliegt, so sollten auch die rein anorganischen Metallsalze eine Mitosegiftwirkung besitzen, da sie schwerlösliche Verbindungen liefern. Zum Eindringen in den Zellkern ist aber eine Lipoidlöslichkeit notwendig, welche die Ionen nicht besitzen, so daß diese nicht zu den Chromosomen vordringen können. Andererseits sind die rein organischen Metallverbindungen zwar lipoidlöslich und vermögen in die Zelle einzudringen, aber sie sind nicht zur Salzbildung und damit nicht zu einer Mitosegiftwirkung befähigt. Die Metallverbindungen, die gleichzeitig organische Reste und ein Anion enthalten, können, da der organische Rest eine Lipoidlöslichkeit verleiht, in den Kern eindringen und dort durch Austausch ihres Anions Verbindungen bilden. Diese Deutung des Wirkungsmechanismus erscheint dadurch begründet, daß nach den bisherigen Untersuchungen der Effekt von der Art des Metalls unabhängig ist. Grundsätzlich sollte jedes Metall, das überhaupt in diese Bindungsform überführbar ist und dessen organische Bindung gegen Wasser und Luft beständig ist, als Mitosegift fungieren können. Durch die Einschränkung durch die Bildungsfähigkeit und Beständigkeit bleiben von den Metallen die folgenden Vertreter: Au, Hg, As, Sb, Bi, Sn, Pb, Pt, Tl, In, Ge, (Cr), deren vollständige Bearbeitung wir durchführen.

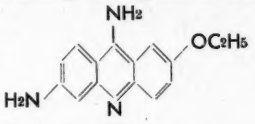
Die Wirksamkeit des Kakodylats und Atoxyls wird durch diese Befunde nicht gedeutet und bedarf noch der Aufklärung. Die Bedeutung der Feststellung der Mitosegiftwirkung metallorganischer Verbindungen scheint mir nicht in der therapeutischen Anwendung dieser Stoffe etwa bei Tumoren zu liegen. Die Versuche über die Wirkungen von Schwermetallen auf Tumoren sind sehr zahlreich und zeigen, daß therapeutische Effekte erst mit Dosen erzielt werden, die den toxischen entsprechen[28]). Für 2 Forschungsrichtungen sind sie vielleicht von größerem Interesse. Die künstlich radioaktiven Elemente werden in der nächsten Zeit in der Krebsforschung, zum mindesten in der experimentellen, eine Rolle spielen. Die Anwendung von künstlich radioaktiven Metallen würde nach obigen Untersuchungen in der Bindungsform der metallorganischen Verbindung von Vorteil sein, da in der rein organischen Bindung das Eindringen in Zelle und Zellkern begünstigt ist, in organisch-anorganischer Bindung außerdem noch die Mitosegiftwirkung hinzukommt. Das zweite Gebiet ist das der Beeinflussung der Vermehrung von Virusarten, die chemisch als Nucleoproteide aufzufassen sind und die sich metallorganischen Verbindungen gegenüber gleichartig wie die Chromosomensubstanz verhalten können. Es ist als Arbeitshypothese anzunehmen, daß chemische Faktoren, welche die Virusvermehrung hemmen (bisher sind solche unbekannt), nicht unter den bekannten bactericiden oder bacteriostatischen Substanzen zu suchen sind, sondern daß diese den Mitosegiften nahe stehen.

B. Trypaflavin.

Trypaflavin ist das 3,6-Diamino-acridin-chlormethylat (Formel V). Gelegentlich der Prüfung des Trypaflavins am



V.



VI.

Mäuse-Ascites-Tumor[17]) hatte ich auch Rivanol (VI) ge-

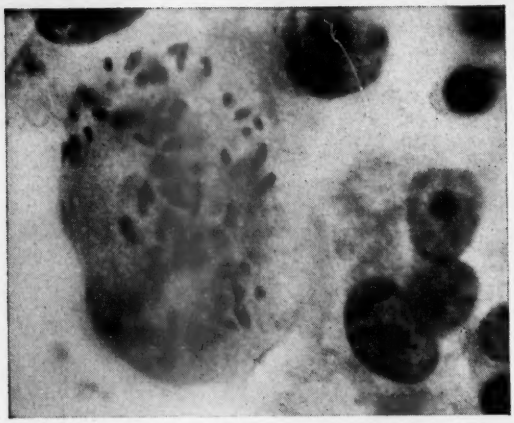


Fig. 6. Zelle des Ehrlich'schen Mäuse-carcinoms in der Gewebekultur bei Gegenwart von 5 γ/ccm 4'-Methxoy-stilbylamin.

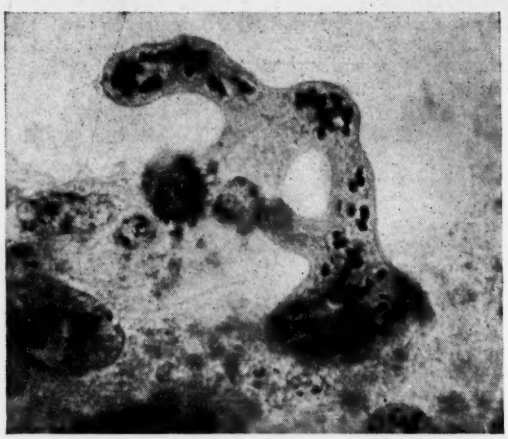


Fig. 7. Zelle des Ehrlich'schen Mäuse-carcinoms in der Gewebekultur bei Gegenwart von 3 γ/ccm eines 3-Phenyl-tetrahydro-isochinolin-derivats.

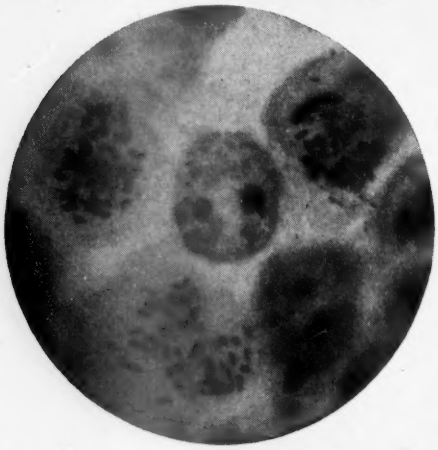


Fig. 8. Zelle des Ehrlich'schen Mäuse-carcinoms in der Gewebekultur bei Gegenwart von 0,1 γ/ccm Colchicin.

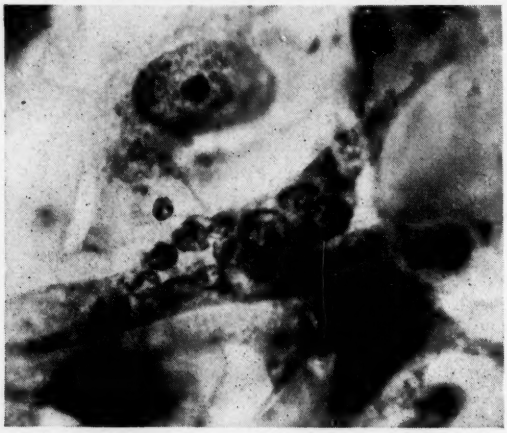
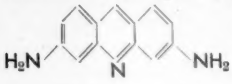
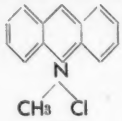


Fig. 9. Vielkernige Zelle; Mäuseembroynalzellen bei Gegenwart von 0,1 γ/ccm Colchicin in der Gewebekultur.

prüft, das keine Wirkung zeigte, so daß nicht alle durch ihre bactericide Wirkung ausgezeichneten Acridinderivate auch als Mitosegifte fungieren, für diese Wirkung also besondere Gesetzmäßigkeiten gelten. Von einigen Variationen des Trypaflavinmoleküls seien folgende Ergebnisse mitgeteilt[28]): Proflavin, das 3,6-Diamino-acridin (VII), zeigt gleiche Wirksamkeit wie Trypaflavin, während Acridin-chlormethylat (VIII) ohne Wirkung ist.

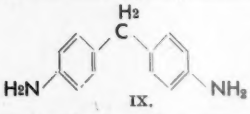


VII.

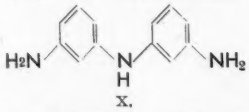


VIII.

p,p'-Diamino-diphenylmethan (IX) und m,m'-Diamino-

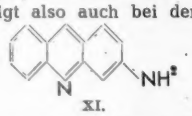


IX.



X.

diphenylamin (X) besitzen keine Wirkung, während 3-Amino-acridin (XI) noch eine schwache Wirksamkeit zeigt. Daraus folgt also auch bei dem Trypaflavintyp

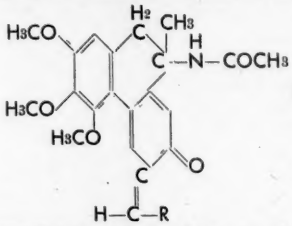


XI.

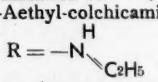
der Mitosegifte eine Konstitutionsabhängigkeit, die das Acridinskelett mit mindestens einer Aminogruppe voraussetzt.

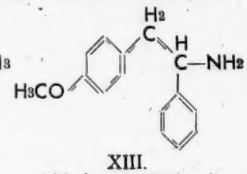
C. Colchicin und vom Colchicin abgeleitete Verbindungen.

a) Wirksamere Derivate des Colchicins. In der früheren Darstellung[1]) der Zusammenhänge zwischen Wirkung und Konstitution wurden Derivate des Colchicins (XII) beschrieben, die durch Abbau des Moleküls ent-



XII. Colchicin. Formulierung nach Windaus. R = —OCH3.
Colchicamid R = —NH2
N-Aethyl-colchicamid





XIII.
4'-Methoxystilbylamin.

stehen, und in dem α-Phenyl-β-(p-methoxyphenyl)äthylamin (4'-Methoxystilbylamin) (XIII) der einfachste synthetische Körper mit Mitosegiftwirkung gefunden (siehe Fig. 6). Alle Derivate des Colchicins hatten eine quanti-

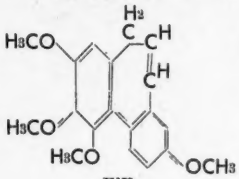
tativ geringere Wirksamkeit und in dem synthetischen Produkt ist sie auf 4 γ/ccm, also auf 1/400 von der des Colchicins, gesunken. Die Darstellung stärker wirksamer Derivate des Colchicins gelang auf folgendem Wege: Die Angabe der Wirksamkeit durch die im Kulturmedium notwendige Menge an Substanz in γ/ccm sagt nichts aus über die wirklich innerhalb der Zelle befindliche Menge, d. h. eine geringere Wirksamkeit kann bedingt sein durch einen geringeren Verteilungskoeffizienten zwischen Medium und Zelle und umgekehrt könnte eine Steigerung des Eindringungsvermögens eine Steigerung der Wirksamkeit bedeuten. Im Verlauf der Untersuchung der Wirkung von Aminen auf in vitro gezüchtete Zellen[30]) hatten wir gefunden, daß Amine von ausreichender Basizität (Ammoniak, aliphatische Amine) ein starkes Eindringungsvermögen in die Zelle haben. Das neutrale Colchicin wurde daher in basische Derivate verwandelt. Der Weg hierfür war gegeben durch Experimente von ZEISEL[31]), der bei der Einwirkung von Ammoniak auf Colchicin das Colchicamid erhielt, das unter Austritt von Methanol entsteht. In gleicher Weise läßt sich Colchicin mit primären und sekundären Aminen zu substituierten Colchicamiden umsetzen[32]). Es wurden 35 Derivate des Colchicins von diesem leicht zugänglichen Typus untersucht. Von diesen sind das N-Methyl-, N-Aethyl- und N-Dimethyl-colchicamid vor den anderen hervorgehoben, daß sie eine stärkere Wirksamkeit als Colchicin besitzen, die bei der Substitution mit einer größeren Zahl von C-Atomen abnimmt (siehe Tabelle 4). Die Steigerung der Wirksamkeit ist weiterhin durch die Beeinflussung des Wachstums und der Mitosenzahlen des Mäuse-Ascites-Tumors festgelegt. H. BRODERSEN[16]) hatte seine ersten klinischen Untersuchungen mit Colchicin durchgeführt, späterhin wurde das N-Aethylcolchicamid (in der Arbeit als basisches Colchicin bezeichnet) verwendet, zumal dieser basische Stoff auch für eine Einführung durch die Haut mit Hilfe der Iontophorese geeignet ist.

Tabelle 4. Wirksamkeit an Hühnerherzfibroblasten in γ/ccm

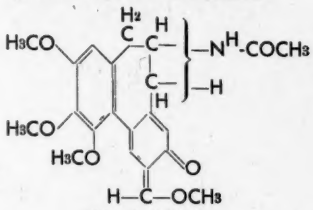
Colchicein	4—5	Colchicamid	0,01
Colchicin	0,04—0,01	N-Methylcolchicamid	0,0025
O-Methylcolchicein	0,05	N-Aethylcolchicamid	0,003
O-Aethylcolchicein	0,08	N-Propylcolchicamid	0,08
O-Propylcolchicein	0,8	N-Butylcolchicamid	0,9
O-Butylcolchicein	2,5	N-Methyl-propylcolchicamid	0,5

Bei diesen stärkstwirksamen Produkten kommen auf das Volumen einer Zelle etwa 70 000 Moleküle des Mitosegiftes, wenn der Verteilungskoeffizient Zelle/Medium = 1 gesetzt wird. Es ist von Interesse, die Frage zu diskutieren, ob eine weitere Steigerung der Wirksamkeit noch möglich ist. R. KUHN[33]) hat gezeigt, daß das ♂-Termon von Chlamydomonas eugametos f. synoica mit 1 Molekül pro Zelle wirksam ist. Von dieser, nach den KUHN'schen Befunden realisierbaren, absoluten Grenze von 1 Molekül pro Zelle sind wir noch um 4—5 Zehnerpotenzen entfernt. Wenn nach den morphologischen Befunden der Mechanismus der Colchicinwirkung in einer Unterdrückung der Spindelbildung gesehen wird, so sollte die geringste Zahl von wirkenden Molekülen gleich der Zahl der Spindelfäden, also gleich der doppelten Zahl der Chromosomen, sein, in der Größenordnung von 80—100. Diese Zahl gäbe die theoretische Grenze an, wenn wir diesen Wirkungsmechanismus annehmen, die noch 3 Zehnerpotenzen von dem stärkstwirksamen Produkt entfernt ist. Über die Frage, ob Mitosegifte in kleinen Dosen die Zellteilung anregen und erst in höheren Dosen hemmen, ist die Diskussion noch nicht abgeschlossen; wenn man eine Anregung durch kleinste Dosen annimmt, sollte man sich mit den bis jetzt erzielten Wirksamkeiten in der Nähe der Grenze der Wirksamkeit als Hemmstoff befinden, da das 1000fache einer (hier nur theoretisch angenommenen) fördernden Wirkdosis der Größenordnung der Verhältniszahlen der Schulz-Arndt'schen Regel entspricht. Ein weiteres Eindringen in die Lücke zwischen der theoretischen Grenze und den bisher stärkstwirksamen Stoffen (s. Fig. 10) durch chemische Abwandlungen wäre also auch von Bedeutung für die Frage der Deutung des Mechanismus der Wirkung der Mitosegifte.

b) Die Stilbylamingruppe in synthetischen Mitosegiften. Seit 1942 sind von I. W. COOK und Mitarbeitern[34]) neue Experimente über den Aufbau des Colchicinmoleküls durchgeführt worden, die für ein Abbauprodukt $C_{19}H_{20}O_4$ (Formel XIV) ein Molekül mit einem



XIV.



XV. Colchicin.
Formulierung nach J. W. Cook.

7gliedrigen Ring sicherstellen, wonach die schon früher von COOK diskutierte Formel des Colchicins mit einem

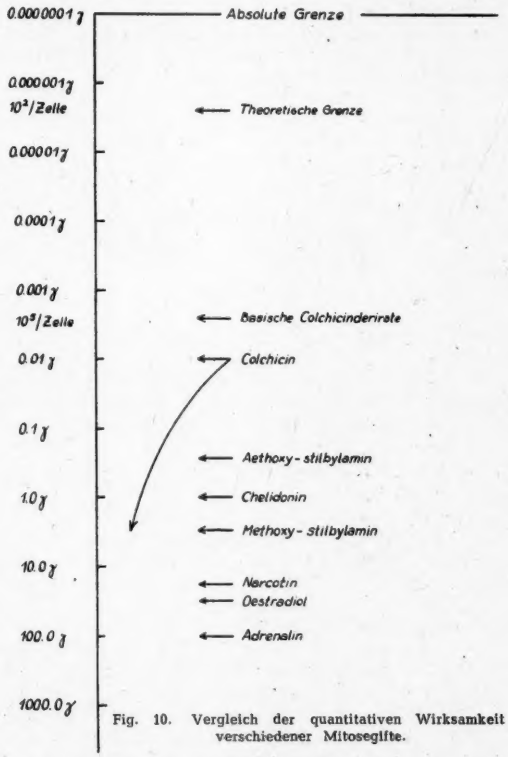
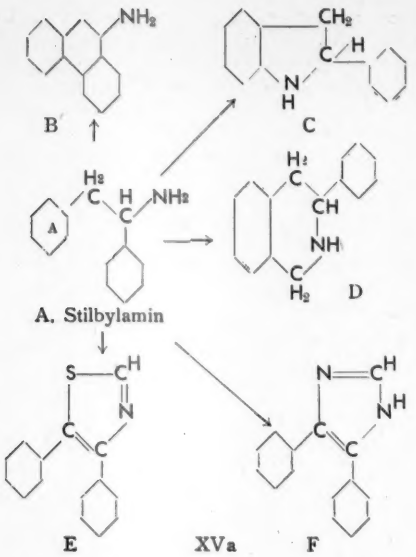


Fig. 10. Vergleich der quantitativen Wirksamkeit verschiedener Mitosegifte.

7-Ring (Formel XV) anzunehmen wäre. Jedoch ist die Frage offen, ob das Abbauprodukt ohne eine Umlagerung im Molekül des Colchicins entsteht. Wir haben uns mit der Chemie des Colchicins nur im Hinblick auf die Abhängigkeit der Wirkung von der Konstitution beschäftigt und können keine direkten chemischen Beweise zur Frage des Aufbaus des Colchicins beisteuern. Doch hat sich die Notwendigkeit der Stilbylamingruppe für die Mitosegiftwirkung weiterhin an synthetischen und natürlichen Produkten bestätigt, so daß wir diesen Befunden mehr als eine nur hypothetische Bedeutung



für die Anwesenheit dieser Gruppe im Molekül des Colchicins zumessen möchten.

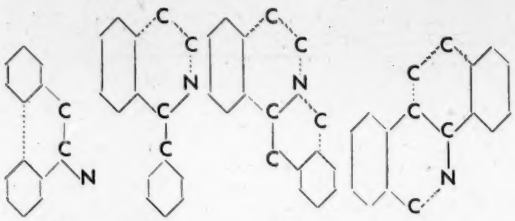
Die Stilbylamingruppe (A) läßt sich in verschiedenster Weise in Ringsysteme einbauen: Phenanthrenderivate (A → B) sind bisher noch nicht dargestellt worden. Der Ringschluß zwischen dem N-Atom und Ring A führt zu 2-Phenylindolinen (A → C), von denen das 5- und 6-Methoxyderivat jedoch keine Wirkung zeigten[35]). Führt man den Ringschluß aber unter Hinzufügung eines C-Atoms zum 3-Phenyl-tetrahydro isochinolin (A → D) durch, so kann man bei geeigneter Substitution wirksame Produkte erhalten[36]) (siehe Fig. 7). Auch der Einbau in heterocyclische Ringe zu Diphenylthiazolen (A → E)[37]) oder Diphenylimidazolen (A → F)[38]) führt zu wirksamen Produkten.

Besonders geeignet ist die Stilbylamingruppe zur Prüfung des Einflusses von Substituenten auf die Wirksamkeit. Von den noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen sei hier nur die Wirkungssteigerung gegenüber der Methoxylgruppe (siehe Formel XIII) bei dem Übergang zu homologen Alkyläthern mitgeteilt[39]):

$R = -OCH_3$ 4—5 γ/ccm $R = -OC_3H_7$ 0,8 γ/ccm
$R = -OC_2H_5$ 0,4 γ/ccm $R = -OC_4H_9$ 1,8 γ/ccm

c) Mitosegifte aus dem Pflanzenreich. Es erschien von Interesse zu prüfen, ob das Colchicin das einzige Alkaloid mit dieser Wirkung auf die Teilung der tierischen Zelle ist und ob die Abhängigkeit von der Struktur des Moleküls sich in gleicher Weise bei anderen wirksamen Alkaloiden wiederfinden würde. Nachdem wir in unseren seit 1940 laufenden Untersuchungen eine größere Zahl von Alkaloiden geprüft haben, kann ein Bild von der Verteilung dieser Wirkung bei den Alkaloiden gegeben werden[40]). Die Stilbylamingruppe ist bei einer Anzahl von Alkaloiden wie im Colchicin in das Molekül eingebaut und unter diesem Gesichtspunkt lassen sich die Alkaloide in zwei Gruppen einteilen: eine Klasse ohne und eine Klasse mit Beziehung zu der Stilbylamingruppe.

Die erste Klasse der Alkaloide ohne strukturelle Beziehung zur Stilbylamingruppe ist mit 45 Vertretern untersucht worden, die in Tabelle 5 zusammengestellt sind: Keines dieser Alkaloide besitzt eine Mitosegiftwirkung wie das Colchicin. Die Auswahl der Alkaloide war im wesentlichen durch ihre Zugänglichkeit begrenzt. Nachdem diese Gruppe von Alkaloiden aber wenigstens mit ihren Hauptvertretern untersucht ist, scheint die Aussage begründet, daß Alkaloide ohne Stilbylamingruppierung keine Mitosegifte sind.



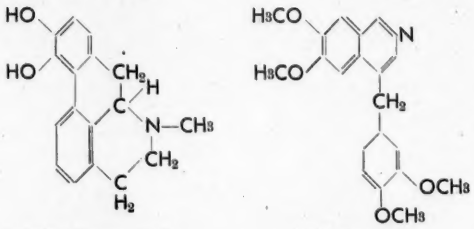


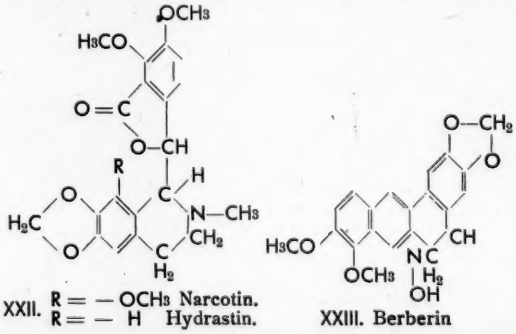
Tabelle 5. Alkaloide ohne Beziehung zur Stilbylamingruppe. Keine Mitosegifte.

Tyramin	Lupinin	Eseridin
Hordenin	Lupinidin	Aconitin
Ephedrin	Cinchonin	Strychnin
Mescalin	Cinchonidin	Brucin
Hygrin	Chinin	Emetin
Nicotin	Chinidin	Cephaelin
Coniin	Cinchotenin	Ergotamin
Lobelin	Pellotin	Lycopodin
Piperin	Anhalonin	Lycoctonin
Atropin	Carnegin	Agaricin
Hyoscyamin	Cotarnin	Aricin
Scopolamin	Yohimbin	Gelseminin
Ecgonin	Aspidospermin	Taxin
Cocain	Pilocarpin	Veratrin
Pelletierin	Physostigmin	Solanin

Von größerem Interesse mußte daher die Untersuchung der zweiten Gruppe der Alkaloide mit Beziehung zur Stilbylamingruppe erscheinen. Diese Alkaloide lassen sich vier verschiedenen Typen zuordnen: 1. dem Colchicintyp (XVI), 2. dem Papaverintyp (XVII), 3. dem Berberintyp (XVIII) und 4. dem Chelidonintyp (XIX) In den Formeln ist die Stilbylamingruppe hervorgehoben.

Neben dem Colchicin können dem ersten Typus die Alkaloide der Aporphingruppe zugerechnet werden, von denen uns die natürlich vorkommenden wie Glaucin, Dicentrin und Bulbocapnin nicht zur Verfügung standen. Es wurde nur Apomorphin (XX) untersucht, das keine Mitosegiftwirkung zeigte.

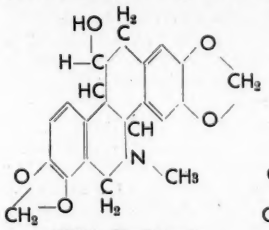
Von der zweiten Gruppe der Benzylisochinolin-alkaloide wurde zunächst Papaverin (XXI) untersucht, das keine Wirksamkeit besaß. Ebensowenig zeigten Tetrahydro-papaverin, Laudanosin, substituierte Laudanosine, Pavin, Laudanin, Laudanosolin eine Mitosegiftwirkung. Hingegen besitzt Narcotin (XXII) in relativ hohen



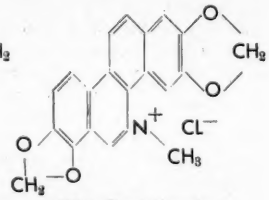
Dosen von 25 γ /ccm eine Mitosegiftwirkung[41]). Colchicin wirkt an der Gewebekultur schon mit 0,01—0,04 γ /ccm, so daß Narcotin also um 3 Zehnerpotenzen schwächer wirkt. Narcein und das dem Narcotin so nahe verwandte Hydrastin (XXII) zeigen jedoch keine Wirkung, ebenso wie Morphin, Codein und Thebain, die man, vor allem in der Schreibweise nach W. AWE, auch in die Gruppe der Benzylisochinolinalkaloide rechnen kann. Während das Molekül des Colchicins außerordentlich stark abgewandelt werden kann, ehe die physiologische Wirkung verschwindet, sehen wir beim Narcotin, daß schon die geringfügige Änderung des Moleküls im Uebergang zum Hydrastin die Wirkung zum Verschwinden bringt und daß es in der Gruppe der Benzylisochinolinalkaloide nur einen Einzelfall eines wirksamen Vertreters darstellt. Bei dieser Sachlage erschien es notwendig, die Frage zu prüfen, ob wirklich das Narcotin selbst oder aber nur eine Beimengung die Wirkung verursacht. Es wurden daher Narcotinpräparate verschiedener Herkunft untersucht und ein Narcotinpräparat durch Kristallisation in mehrere Fraktionen zerlegt, die aber alle gleiche Wirksamkeit zeigten. Durch Racemisierung von Narcotin wurde Gnoscopin dargestellt, das ebenfalls Mitosegiftwirkung zeigt. Es hat daher den Anschein, als ob Narcotin selbst ein Mitosegift wäre, doch muß mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß nur eine bisher unbekannte Beimengung die Wirkung verursacht.

Die dritte Gruppe der Berberinalkaloide enthielt unter den untersuchten Vertretern kein Mitosegift. Berberin (XXIII), Tetrahydroberberin, Palmatin, Jatrorrhizin und andere waren ohne Wirkung.

Die vierte Gruppe, der Chelidonintyp, stellt im Chelidonin (XXIV) ein Mitosegift, das mit 1 γ /ccm, also etwa 100mal schwächer als Colchicin wirkt, aber 25mal stärker als Narcotin. Im Schöllkraut (Chelidonium majus) wird das Chelidonin vom Homochelidonin begleitet, das anstelle einer Dioxymethylengruppe zwei Methoxylgruppen besitzt; dieser Stoff und Methoxychelidonin[42]) zeigen deutliche Mitosegiftwirkung. Die im heterocyclischen Ring nicht hydrierten Begleitalkaloide Sanguinarin (XXIV) und Chelerythrin waren jedoch ohne Wirkung



XXIV. Chelidonin.



XXV. Sangûinarin.

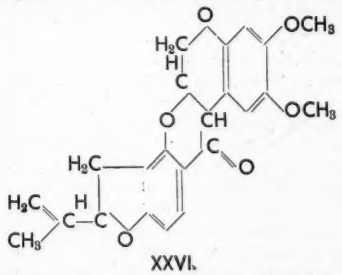
Das Schöllkraut wird auch als „Warzenkraut" bezeichnet und sein gelber Saft als Volksmittel zum Vertreiben von Warzen verwendet. Nach den Erfahrungen von H. BRODERSEN[16]) über die Wirksamkeit von Colchicin und Colchicinderivaten bei äußeren Tumoren würde diese Wirkung sich durch die Mitosegiftwirkung der Chelidoniumalkaloide deuten lassen. Die Verwendung des Chelidoniumsaftes als Volksmittel gegen Krebs[43]) ist schon Gegenstand einer Reihe von klinischen Nachprüfungen gewesen, die positive und negative Ergebnisse verzeichnen. Eine Zusammenstellung dieser meist älteren Untersuchungen findet man bei STICKL[44]), der auch experimentelle Untersuchungen mit Chelidoniumalkaloiden durchgeführt hat. Nach der Feststellung der Mitosegiftwirkung des Chelidonins erscheint eine erneute klinische Prüfung erwünscht, zumal das Chelidonin günstige pharmakologische Eigenschaften besitzt.

Für die Frage des Zusammenhangs zwischen Mitosegiftwirkung und Konstitution ergibt sich aus der Feststellung der Wirksamkeit des Narcotins und von drei Chelidoniumalkaloiden eine weitere Bestätigung der Notwendigkeit der Stilbylamingruppe. Ihre Anwesenheit ist keine hinreichende Bedingung, da sonst alle Alkaloide dieser zweiten Gruppe (vgl. Tabelle 6) wirksam sein müßten; als zweiter notwendiger Faktor tritt eine geeignete Substitution hinzu. Aus der Tatsache, daß Alkaloide ohne die Stilbylamingruppe keine Mitosegifte darstellen, könnte man deren Anwesenheit aber als eine notwendige Bedingung ableiten und wird diese Feststellung auch bei noch schwebenden Fragen über den Aufbau des Colchicinmoleküls berücksichtigen müssen.

Tabelle 6. Alkaloide mit Beziehung zur Stilbylamingruppe. Mitosegifte unterstrichen.

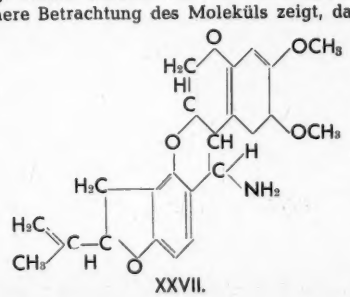
I. Colchicintyp	*III. Berberintyp*
Colchicin	Berberin
Colchicein	Tetrahydroberberin
Apomorphin	16, 17-Dihydro-desoxyberberin
II. Papaverintyp	Palmatininumitrat
Papaverin	Tetrahydropalmatin
Laudanosin	Jatrorrhiziniumchlorid
Pavin	Tetrahydro-jatrorrhizin
Laudanin	Cryptopin
Laudanosolin	*IV. Chelidonintyp*
Narcotin	Chelidonin
Gnoscopin	Homochelidonin
Narcein	Methoxychelidonin
Hydrastin	Sanguinarin
Morphin	Chelerythrin
Codein	
Oxyacanthin	
Rhoeadin	

Von weiteren pflanzlichen Produkten haben wir noch Amygdalin, Coffein und Theobromin untersucht, die aber keine Mitosegiftwirkung auf die tierische Zelle zeigen. Nachdem die Prüfung der Alkaloide eine so strenge Abhängigkeit von der Konstitution gezeigt hat, war es kaum zu erwarten, daß unter stickstofffreien Pflanzenprodukten Mitosegifte zu finden sein sollten und tatsächlich hat die Prüfung von pflanzlichen Herzgiften, Bitterstoffen, Fischgiften und zahlreichen Cumarinen nicht zur Auffindung eines Stoffes mit dieser Wirkung geführt. Allein Rotenon, das Fischgift aus Derris elliptica (Formel XXVI), zeigte eine deutliche



XXVI.

Wirkung. Dieser Befund war sehr überraschend, aber eine nähere Betrachtung des Moleküls zeigt, daß in ihm

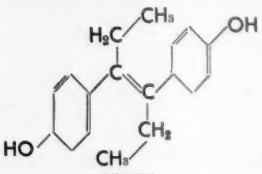


XXVII.

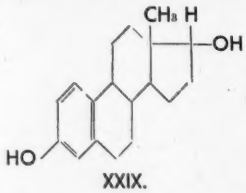
die Gruppierung Benzolkern-C-C-Benzolkern vorhanden ist. Wenn nun innerhalb der Zelle die C = O-Gruppe durch reduktive Aminierung umgewandelt wird, so kommen wir damit zu einem Produkt der Formel XXVII, das die Stilbylamingruppe enthält. Wir haben dieses Umwandlungsprodukt aus Rotenon durch Reduktion des Rotenonoxims dargestellt und auch bei ihm eine Mitosegiftwirkung beobachten können[45]). Da andere Fischgifte keine Mitosegiftwirkung zeigen, glaube ich nicht, daß diese Wirkung für die Fischgiftwirkung maßgebend ist, aber dieser Befund hat in einem anderen Zusammenhang grundsätzlichere Bedeutung.

d) Mitosegifte aus dem Tierreich, Hormone und hormonartige Stoffe. Die Anwesenheit der Gruppierung Benzolkern —C—C—N, die als sympathicomimetische Gruppe bezeichnet wird, in den synthetischen Mitosegiften gab den Anlaß zur Prüfung natürlich vorkommender Phenyläthylamin-derivate, von denen lediglich das Adrenalin eine Mitosegiftwirkung zeigte. Wie früher [1]), [13]) beschrieben, kommt diese Wirksamkeit aber nicht dem unveränderten Adrenalinmolekül zu, sondern einem Umwandlungsprodukt, bei dessen Bildung oxydative Vorgänge eine Rolle spielen. Ohne experimentelle Begründung sind diese Versuche von E. KNAKE[46]) in Zweifel gezogen worden, die von uns aber immer wieder reproduziert werden konnten. Nachzutragen habe ich die Zitierung der Arbeit von I. GOLDNER[47]), die mir erst später zur Kenntnis gekommen ist, in welcher schon 1923 die Mitosegiftwirkung des Adrenalins an der Thymus nachgewiesen worden ist. Richtig zu stellen ist also lediglich, daß unsere Ergebnisse die Wirkung des Adrenalins am Explantat als direkte Zellwirkung aufzeigen, nachdem seine Wirkung als karyoklastisches Gift schon beschrieben war.

Von anderen Hormonen erwiesen sich Insulin, Thyroxin, Acetylcholin, Histamin und Hypophysenhormone als unwirksam. Die Verwandtschaft im Molekülaufbau mit der Stilbylamingruppe war der Anlaß zur Prüfung des Diäthylstilböstrols (Formel XXVIII), eines synthetischen

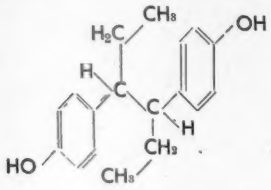


XXVIII.



XXIX.

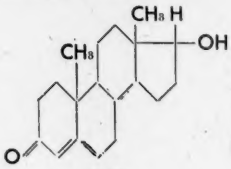
Produktes mit östrogener Wirkung, das mit hohen Dosen eine Mitosegiftwirkung zeigt[13]). Daran schloß sich die Feststellung einer gleichartigen Wirkung des natürlichen Follikelhormons (Formel XXIX) an. Die Frage, ob die Mitosegiftwirkung mit der östrogenen Wirkung parallel läuft, haben wir vor allem an den synthetischen östrogenen Faktoren geprüft[48]), da hier eine Abstufung der östrogenen Wirkung leicht möglich ist. Es kann noch nicht als allgemeingültig angesehen werden, daß beide Wirkungen parallel laufen, wenn auch einige Beispiele dafür zu sprechen scheinen. Besonders eindrucksvoll ist der Fall der beiden stereoisomeren Dihydroderivate des Diäthylstilböstrols (Formel XXX), die in einer Meso-



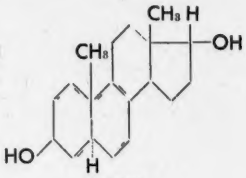
XXX.

form und einer Racemform auftreten, wobei die Racemform etwa gleiche östrogene Wirksamkeit wie das Diäthylstilböstrol besitzt, während die Mesoform nur 1/100 der Aktivität zeigt. Parallel damit zeigt die Racemform wie Diäthylstilböstrol eine Mitosegiftwirkung mit 25 γ/ccm, während die schwach östrogene Mesoform noch mit 100 γ/ccm unwirksam ist.

In seinen Untersuchungen über die Wirkung von Steroidhormonen auf die Mitose hat W. V. MOLLENDORFF[49]) mit männlichen Sexualhormonen Störungen des Teilungsablaufs beobachtet, die in der Häufung von Metaphasen mit abgesprengten Chromosomen bestehen. In chemischer Hinsicht ist es von Interesse, daß nur die ungesättigten Verbindungen diese Wirkung haben, während entsprechende gesättigte Verbindungen keine Wirkung auf die Mitose zeigen, obschon ihre hormonale Wirkung erhalten ist.



XXXI.



XXXII.

Tabelle 7.

M = Prozentzahl der gestörten Aequatorialplatten in der Konzentration 1:50 000.

H = Reihenfolge im Hahnenkammtest.

ungesättigt		
Methyltestosteron	M = 82,	H = 5
Testosteron (XXXI)	M = 21,	H = 1
Dehydroandrosteron	M = 21,	H = 15
Androstendion	M = 13,	H = 13—14
gesättigt		
Dihydro-methyltestosteron	M = 0,	H = 2— 4
trans-Dihydrotestosteron (XXXII)	M = 0,	H = 2— 4
trans-Androsteron	M = 0,	H = 11—12
Androstandion	M = 0,	H = 13—14

e) Zur therapeutischen Verwendung von Colchicinderivaten. Die Tatsache, daß hormonale Faktoren eine Mitose-„Gift"-Wirkung zeigen, regt zur Diskussion der Frage an, ob diese Wirkung auch im physiologischen Geschehen eine Rolle spielt, ob hormonale Faktoren durch ihre Wirkung auf die Mitose als Wachstumsregulatoren fungieren können. Diese Frage soll später eingehender behandelt werden. Hier sei nur die Beziehung zur Frage des ungehemmten Wachstums der Krebszelle besprochen. Wie früher beschrieben und inzwischen reproduziert, zeigt Adrenalin auf die Teilung der Krebszelle keine hemmende Wirkung. Ein ähnlicher Unterschied besteht in der Wirkung des Adrenalins (bezw. oxydierten Adrenalins) auf den Stoffwechsel von normalem und von Krebsgewebe[50]); während die Atmung normaler Gewebe stark gesteigert wird, bleibt die von Krebsgewebe völlig unbeeinflußt. Die Unwirksamkeit des Adrenalins an der Tumorzelle als Mitosegift kann daher durch den veränderten Stoffwechsel gedeutet werden, indem eine oxydative Umwandlung des Adrenalins nicht möglich ist. Das ungehemmte Wachstum der Krebszelle (nicht ihre Entstehung!) wäre danach so zu deuten, daß sie sich der Wirkung des körpereigenen Mitoseregulators Adrenalin entziehen kann, wobei die Frage, ob die Krebszelle eine ihr innewohnende „Wachstumstendenz" hat, unberührt bleiben soll. Mitosegifte wie Colchicin, die nicht vom Stoffwechsel der Zelle abhängig sind, wirken daher auch auf die Krebszelle wie auf die normale Zelle. Seit 1941 hat H. BRODERSEN[16]) die Wirkung von Colchicin und N-Aethylcholchicamid auf Papillome und Carcinome klinisch untersucht. In den Fig. 11—14 ist ein Mammacarcinom-rezidiv abgebildet das mit N-Aethylcolchicamid in Form von Salbe behandelt wurde und in das der gleiche Stoff durch

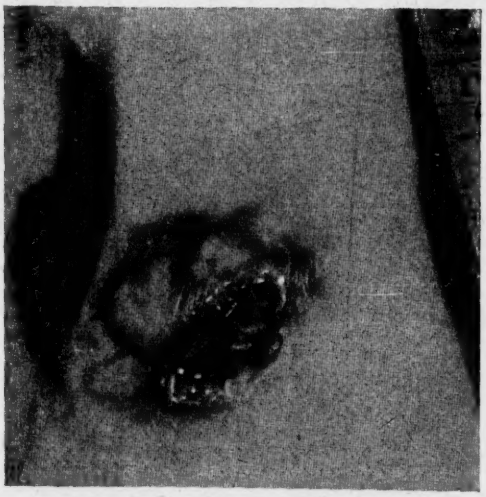


Fig. 11. am 13. V. 1942 vor Behandlungsbeginn.

Fig. 12 am 10. VI. 1942.

Fig. 13 am 11. VII. 1942.

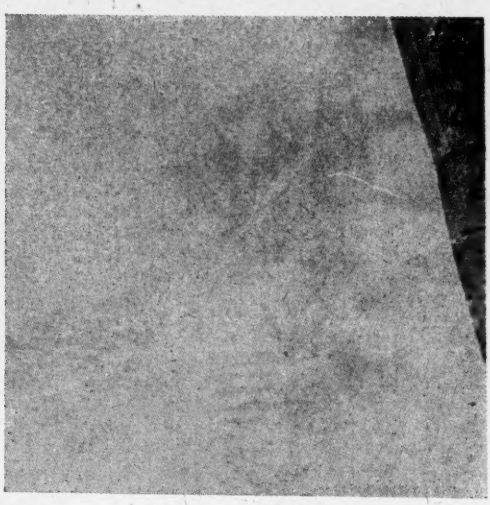


Fig. 14 am 5. VIII. 1942.

Fig. 11—14. Mamma-carcinomrezidiv, behandelt mit N-Aethyl-colchicamid, als Salbe aufgetragen und durch Iontophorese eingeführt.

Jontophorese durch die Haut eingeführt wurde. Dieser und andere Fälle der sorgfältigen Untersuchungen von H. BRODERSEN erbringen den Beweis, daß ein Tumorwachstum durch eine genügende lokale Konzentration eines Mitosegiftes, das nicht vom Stoffwechsel der Zelle abhängig ist, unterbunden werden kann. Die große Allgemeingiftigkeit der bisher bekannten Mitosegifte verhindert ihre Anwendung bei inneren Tumoren und beschränkt diese auf die äußeren Tumoren. Wieweit die klinische Anwendung der Mitosegifte bei äußeren Tumoren Vorteile gegenüber der chirurgischen oder Strahlenbehandlung hat, ist noch nicht sicher entschieden. Im Rudolf-Virchow-Krankenhaus Berlin sind bis 1945 fünfzig Fälle behandelt worden. In der Chirurgischen Universitätsklinik Göttingen wurde die Behandlung von drei Hautcarcinomen mit N-Aethylcolchicamidsalbe begonnen, aber durch Strahlenbehandlung fortgesetzt, da der Eindruck bestand, daß die alleinige Behandlung mit dem Mitosegift nicht zur Heilung führte. In der Chirurgischen Universitätsklinik Freiburg i. Br. wurde die begonnene klinische Prüfung 1944 durch äußere Ereignisse unterbrochen.

Die Bedeutung der Mitosegifte für Probleme des geordneten und ungeordneten Wachstums, der Einfluß des Zellstoffwechsels auf die Mitosegifte und das Problem der krebsspezifischen Mitosegifte sollen in einer später folgenden Zusammenfassung behandelt werden, in der auch auf die Faktoren eingegangen wird, die an der Pflanze polyploidisierend wirken und an Hefe Gigasformen bilden.

Literatur.

1. LETTRE, Naturwissenschaften **30**, 34 (1942), s. dort auch weitere Literaturangaben. — 2. TH. WAGNER-JAUREGG, Naturwissenschaften **31**, 335 (1943). R. KUHN, Die Chemie **55**, 1 (1942). — 3. R. KUHN und WEYGAND, Ber. dtsch. chem. Ges. **76**, 1044 (1943). — 4. ALBERT FISCHER, Gewebezüchtung, München 1930. ILSE FISCHER, Grundriß der Gewebezüchtung, Jena 1942. LETTRE, Angewandte Chemie **53**, 363 (1940). — 5. Naturwissenschaften **30**, 665 (1942). — 6. Arch. f. exper. Pathologie **193**, 679 (1939), — 7. Protoplasma **28**, 597 (1937). — 8. Bull. Acad. Méd. Belg., Bruxelles **14**, 487 (1934). Arch. exper. Zellforschung **22**, 395 (1939). — 9. Vergl. die Zusammenfassung von RIES, Naturwissenschaften **27**, 505 (1939). — 10. Am. J. of Physiology **123**, 578 (1938). — 11. Arch. exper. Zellforschung **18**, 411 (1936). — 12. Vergl. den Befund von RIES, 9. — 13. LETTRE und M. ALBRECHT, Hoppe-Seyler's Z. **271**, 200 (1941), **278**, 201 (1943). — 14. Z. f. Krebsforschung **55**, 116 (1944). — 15. Z. f. Zellforschung **29**, 283 (1939). — 16. Strahlentherapie **73**, 196 (1943). — 17. Hoppe-Seyler's Z. **271**, 192 (1941). — 18. Hoppe-Seyler's Z. **268**, 59 (1941). — 19. Vergl. LETTRE, Ergebnisse der Enzymforschung **9**, 1 (1943). — 20. R. KUHN, Naturwissenschaften **31**, 468 (1943). — 21. J. of Heredity (Am.) **28**, 393 (1937). — 22. Die Chemie **58**, 41 (1945). — 23. Phytopathol. Z. **14**, 385 (1943). — 24. Angewandte Chemie **40**, 559 (1927). — 25. Nature (London) **152**, 564 (1943). — 26. LETTRE, H. TELSCHOW u. I. KRÜGER, unveröffentlicht. — 27. H. FRIEDRICH-FREKSA, Naturwissenschaften **28**, 376 (1940). — 28. BLAIR BELL, Britisch med. J. **1929 I**, 431, **1930 II**,

63. BARGEN, HORTON und OSTERBERG, Amer. J. of Cancer 23, 762 (1935). — 29. LETTRE, BAUER, JUNGMANN und WENGHOFER, unveröffentlicht. — 30. LETTRE und ALBRECHT, Hoppe-Seyler's Z. 279, 206 (1943). — 31. Monatshefte für Chemie 9, 1 (1888). — 32. LETTRE, Deutsche Reichspatentanmeldung vom 24. 3. 1942. — 33. Die Chemie 53, 1 (1940). Ber. dtsch. chem. Ges. 74, 219 (1941). — 34. Journ. Chem. Soc. London 1944, 322, 325; 1945, 176. — 35. LETTRE, KLIE und CARL, unveröffentlicht. — 36. LETTRE und I. DELITZSCH, Hoffe-Seyler's Z. 281, 139 (1944). — 37. LETTRE und MOHN, unveröffentlich. — 38. LETTRE und H. FERNHOLZ, unveröffentlicht. — 39. LETTRE und MEX, unveröffentlicht. — 40. LETTRE und ALBRECHT, Hoppe-Seyler's Z. 281, 133 (1944). — 41. LETTRE und ALBRECHT, Naturwissenschaften 30, 184 (1942). — 42 WINTERFELD, Arch. f. Pharmazie 262, 589 (1924). — 43. Siehe z. B. P. WALDEN, Geschichte der organischen Chemie. Springer 1941, Seite 471. — 44. Virchow's Arch. f. path. Anatomie 270, 801 (1929). — 45. LETTRE und I. DELITZSCH, unveröffentlicht. — 46. Naturwissenschaften 31, 173 (1943). — 47. C. r. Soc. Biol. Paris 88, 545 (1923). — 48. LETTRE und MOHN, unveröffentlicht. — 49. Zeitschrift f. Zellforschung 32, 35 (1941). — 50. KISCH, Biochemische Z. 237, 226 (1931).

Eingegangen am 6. Juli 1946.

Irritabilität, Rhythmik und Periodik.

Von ALBRECHT BETHE.

Jede Spannung strebt nach Ausgleich; sie ist bereit, auf einen äußeren Anstoß die aufgespeicherte Energie zur Entladung zu bringen (Irritabilität) oder sich nach Erreichung eines Maximums jedesmal von selbst zu entladen (Rhythmizität). Zeigt ein Rhythmus sich wiederholende Untertellungen, so soll dies Periodik genannt werden.

Alle drei Formen des Geschehens sind in der belebten Natur außerordentlich verbreitet; ja man kann sie — wenigstens Irritabilität und Rhythmizität — zu den Grundeigenschaften des Lebens rechnen. Aber auch dem Leblosen sind sie nicht fremd, und fast täglich begegnen uns mechanische, elektrische und chemische Einrichtungen der Technik, die auf ihnen beruhen. Diese sind vielfach geeignet, das Wesen solcher Vorgänge zu studieren und so einiges Licht auf analoge Erscheinungen an lebenden Organismen zu werfen. Dies zu zeigen, soll im Folgenden versucht werden.

Irritabilität.

In den Lehrbüchern der Physiologie sucht man meist vergeblich nach einer knappen und allgemein gültigen Definition der Irritabilität; der Begriff wird als bekannt vorausgesetzt; vielleicht kann man sagen: Irritabilität bedeutet in der Biologie die Auslösung eines für das betreffende System spezifischen energetischen Vorgangs durch einen meist wesensverschiedenen und häufig energieärmeren äußeren Anstoß, den „Reiz" (z. B. Auslösung einer Muskelkontraktion durch einen elektrischen Reiz, einer Speichelsekretion durch einen mechanischen Reiz, eines Aktionsstroms durch plötzliche Erwärmung eines Nerven usw.). Dementsprechend spricht man vergleichsweise auch von Irritabilität, wenn ein Sprengstoff elektrisch oder mechanisch zur Explosion gebracht, eine exotherme chemische Reaktion durch Rühren oder Erwärmen in Gang gesetzt, ein Kondensator durch Ionisierung der Luft oder durch mechanisch herbeigeführten Kurzschluß entladen wird usw.

Zunächst ist folgende Frage zu prüfen: Ist die Spannung, die zur Entladung kommt, schon in dem Augenblick vorhanden, in welchem der Reiz einwirkt, oder wird sie durch ihn erst zur Entwicklung gebracht? Beide Ansichten sind mehr oder weniger deutlich in der Literatur zum Ausdruck gekommen. Der ersteren Deutung neigt man fast allgemein bei pulsatorischen Vorgängen zu, z. B. bei den rhythmischen Bewegungen des Herzens. Diese erklärt man in der Weise, daß sich langsam eine Spannung entwickelt, die sich nach Erreichung einer gewissen Höhe von selbst entlädt. Wirkt aber vorher ein Reiz ein, so kommt es zu einer vorzeitigen Entladung der bereits angesammelten Energie. Der zweiten Deutung begegnet man besonders in der älteren Literatur häufig bei der Aktion des Skelettmuskels. Hier sollte der Reiz einen chemischen Vorgang anregen, der seinerseits erst die zur Entladung kommende Spannung erzeugt. In neuerer Zeit [etwa seit 1911[1]]] wird aber auch in diesem Fall häufiger die Meinung vertreten, daß die zur Auslösung kommende Spannung im ungereizten Muskel potentia bereits vorhanden ist und während der Erholungsphase von neuem wieder erzeugt wird[2]); dafür sprach unter anderem, daß die Hauptmenge der gebildeten Wärme in die Zeit nach der Zuckung fällt[3]).

Der hier vorliegende Dualismus wird deutlicher, wenn wir analoge Beispiele aus der Technik heranziehen: Beide Möglichkeiten bietet die bekannte Blinkschaltung der Radiotechnik (Fig. 1), bestehend aus einem Kondensator K_1, einer aufladenden Batterie Ba_1 und einer Glimmröhre Gl_1. Bleibt die Spannung der Batterie unter der Zündspannung der Glimmröhre, so ist der Kondensator zwar aufgeladen, eine spontane Entladung kann aber nicht eintreten; wohl aber kann ein einwirkender Reiz eine Entladung auslösen (plötzliche Erhöhung der Ladespannung durch einen Stromstoß, mechanische Erschütterung der Glimmlampe oder plötzliche Belichtung derselben; Fig. 2a). Man kann den Erregungsvorgang aber auch so lenken, daß der Kondensator im ungereizten Zustand nicht geladen ist und erst durch den Reiz an die Batterie angeschlossen und bis zur Zündspannung aufgeladen wird. Diesem Fall entspricht das oft zum Vergleich herangezogene Schießgewehr, bei welchem beim Abdrücken erst die Gasspannung entwickelt wird, die das Geschoß herausschleudert, während ein Analogon zum ersten Fall die Windbüchse darstellen würde.

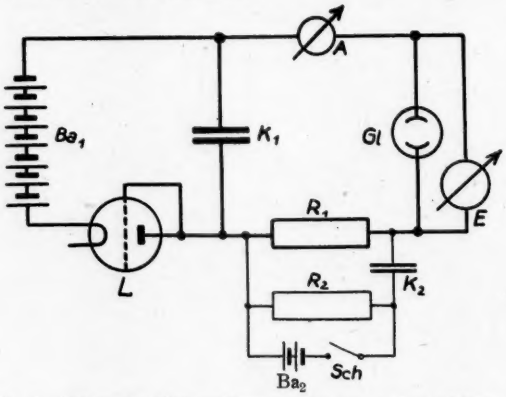


Fig. 1. Schema der Blinkschaltungsversuche, Ba_1 u. Ba_2 Batterien K_1 u. K_2 Kondensatoren, Gl Glimmlampe, L Elektronenröhre, R_1 u. R_2 Widerstände, Sch Schlüssel, A Apèremeter, E Elektrometer. Dünn ausgezogener Teil zur Reizung der Blinkschaltung mit Kondensatorentladungen.

Dualistische Vorstellungen haben immer etwas mißliches an sich; man wird daher versuchen, ob nicht mit einer der beiden Möglichkeiten alle bekannten Irritabilitätserscheinungen vereinbar sind. Die größere Wahrscheinlichkeit liegt nach meiner Meinung auf der Seite einer schon im ungereizten Zustand vorhandenen Spannung, die sich nach jeder Entladung durch einen selbsttätig einsetzenden energetischen Vorgang verhältnismäßig langsam wieder herstellt (Fig. 2a). Wir würden damit die vitalen Erregungsvorgänge als Kippvorgänge[4]) ansehen*), einer Vorstellung, der sich vor kurzem auch BONHOEFFER[5]) angeschlossen hat.

*) Nicht zu den Kippvorgängen sind offenbar solche langsam ablaufende Reaktionen zu rechnen, welche durch periodische oder nicht periodische Dauereinflüsse zustandegekommen wie z. B. Heliotropismus, Geotropismus usw.

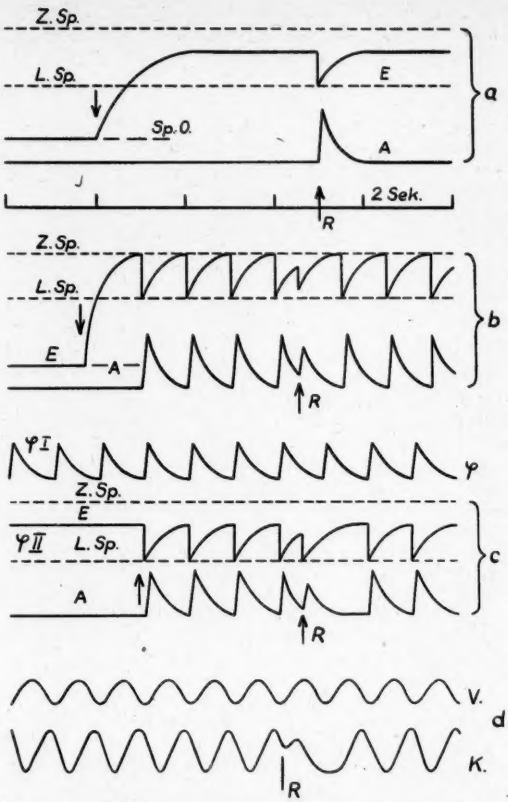


Fig. 2. a—c Blinkschaltungsversuchee (Umzeichnungen von Originalkurven). E Elektrometerkurve, A Amperemeterkurve, ZSp Zündspannung, LSp Löschspannung, SpO Nullspannung, R Reiz. a) Aufladung unter ZSp. Bei R Entladung durch Lichtreiz. b) Aufladung über ZSp. Spontane rhythmische Entladungen, bei R Störung durch provozierte Extrasystole. c) Aufladung von System II unter ZSp. Rhythmische Entladungen (von ↑ nach rechts) erzwungen durch Ankoppelung eines spontan pulsierenden Systems (S I = „Schrittmacher"). Bei R kurzer elektrischer Reiz von SII. Extrasystole mit kompensatorischer Pause. d) Pulsierendes Froschherz. V Vorhof K Kammer; bei R elektrischer Reiz an Kammer. Erfolg: Extrasystole mit kompensatorischer Pause.

Als Kippvorgänge faßt man in der Physik und in der Technik alle Phänomene zusammen, bei welchen sich eine Spannung mehr oder weniger langsam entwickelt, um sich nach Erreichung eines bestimmten Schwellenwerts plötzlich zu entladen. Meist handelt es sich dabei um rhythmische Vorgänge, und man spricht dann (im Gegensatz zu den harmonischen Schwingungen oder Sinusschwingungen) z. B. in der Radiotechnik von Kippschwingungen. Nach dem Vorgehen von VAN DER POL und VAN DER MARK[6]) werden sie auch als Relaxationsschwingungen bezeichnet. Diese Autoren haben die Kippschwingungen eingehend theoretisch untersucht und darauf hingewiesen, daß zahlreiche Vorgänge des täglichen Lebens als Kippschwingungen aufgefaßt werden können.

Neben dem LILLIEschen Modell des passiven Eisens (siehe BONHOEFFER[5]) eignen sich besonders zwei künstliche Kippsysteme, um zum Vergleich mit den Irritabilitätsphänomenen der Lebewesen und deren erregbaren Geweben herangezogen zu werden: die schon oben erwähnte Blinkschaltung und die Katalyse des Wasserstoffsuperoxyds (H_2O_2) an einer Quecksilber-Oberfläche, die zuerst von BREDIG und seinen Mitarbeitern[7]) genauer untersucht und zum Vergleich herangezogen worden ist. Überschichtet man Hg mit einer schwach alkalischen H_2O_2-Lösung, so tritt eine lebhafte Sauerstoffentwicklung ein. Ist die Lösung aber schwach sauer, so überzieht sich das Hg mit einer braunen Haut und das System verhält sich passiv. Zwischen diesen beiden Extremen liegt ein labiles Zwischenstadium, in welchem je nach der Reaktion und der Art und Menge zugesetzter Neutralsalze[8]) drei verschiedene, ineinander übergehende Empfindlichkeiten auftreten: a) vorübergehendes Aussetzen der Katalyse bei mechanischem oder elektrischem Reiz unter gleichzeitiger Änderung der Potentialdifferenz zwischen Hg und darüberstehender Lösung, b) selbttätiger Wechsel zwischen Aktivität und Passivität (BREDIGs rhythmische Katalyse) und c) vorübergehendes Wiedereinsetzen der Katalyse bei der Reizung unter gleichzeitigen, den vorigen entgegengesetzten Potentialänderungen. Wir haben also hier ein System vor uns, das je nach der Reaktion der Lösung Irritabilität in entgegengesetzten Richtungen zeigt.

Diese Abhängigkeit vom p_H und die Veränderung der Lage des Indifferenzpunktes je nach Art und Menge gegenwärtiger Neutralsalze erinnert an ähnliche Verhältnisse bei manchen Kolloidprozessen und anderen kapillar-elektrischen Vorgängen. So tritt z. B. beim Durchleiten eines elektrischen Stroms durch eine Elektrolytlösung, die durch eine geeignete Membran in zwei Abteilungen geteilt ist, je nach dem p_H und der Art der gegenwärtigen Salze auf der Plusseite bzw. auf der Minusseite des Diaphragmas eine Konzentrationszunahme und auf der Gegenseite eine Konzentrationsabnahme ein[9]). Da nun nach der NERNSTschen Theorie der erregenden Wirkung des elektrischen Stroms Konzentrationsänderungen an Grenzflächen der Zellen Ursache der Erregung sind, so war — die Richtigkeit der Theorie vorausgesetzt — anzunehmen, daß der Ort der Erregung von der Kathode (siehe weiter unten) zur Anode umschlagen würde, wenn es gelingt, die p_H und die Elektrolythzusammensetzung innerhalb lebender Zellen in genügendem Maße zu verändern[10]). Einige Befunde an Infusorien sprechen auch in diesem Sinn. An Geweben höherer Tiere blieben aber unsere daraufhin gerichteten Versuche bisher erfolglos, weil die Gewebe vor Erreichung einer genügenden p_H abstarben, in anderen Fällen wohl deshalb, weil die zugesetzten Substanzen nicht in die Zellen eindrangen.

Die polare Erregung: Der elektrische Strom erregt die meisten Gewebe beim Schließen nur an der Kathode, beim Öffnen nur an der Anode; während der Dauer des Fließens bleiben Erregungserscheinungen aus (abgesehen von dem bei Anwendung starker Ströme auftretenden, ebenfalls kathodischen „Schließungstetanus")*).

Eine ausgesprochen polare Wirkung zeigt sich nun auch bei den beiden genannten und einigen anderen Vergleichsmodellen. Bei der Blinkschaltung kommt es nur zu einer Entladung, wenn der Reizstrom dem Entladestrom beim Schließen entgegengesetzt und beim Öffnen gleichgerichtet ist. Beim Einzelsystem muß also der Reizstrom gewendet werden, um bei Schließung und Öffnung eine Entladung zu erzielen; an zwei gekoppelten Systemen erhält man dagegen beide Effekte, die Schließungswirkung vom einen, die Öffnungswirkung vom anderen ausgehend[12]).

Beim katalytischen Modell liegen die Verhältnisse wegen des Einflusses des Milieus wesentlich komplizierter; aber auch hier ist die Wirkung des elektrischen Reizes streng polar[8]). So ruft bei bestehender Katalyse immer nur anodische Polarisation des Hg plotzlicne Inaktivität hervor, niemals aber kathodische Polarisation**). Auch Phänomene, die mit dem Öffnungseffekt und mit dem Schließungstetanus zu vergleichen sind, kommen zur Beobachtung.

*) Über Abweichungen von dieser Regel siehe SCHAEFER[11]) S 87 u. f.

**) Ob hier die Anode oder die Kathode erregend wirkt, hängt davon ab, von welcher Seite man das System $Hg—H_2O_2$ zu betrachten hat. Von der wässerigen Seite her gesehen, wirkt hier kathodische Polarisation erregend.

Unsere Modelle stimmen also darin mit allen lebenden Objekten überein, daß der Ort der Erregungsauslösung von der Stromrichtung abhängt. Beim katalytischen Modell verläuft der Vorgang auch insoweit analog, als die Schließungserregung durch Depolarisation einer zu beiden Seiten einer Trennungsschicht bestehenden elektrischen Spannung zustandekommt, während bei der Blinkschaltung eine Steigerung der schon vorhandenen Spannung notwendig ist, um zur Erregung zu führen.

PFLUGERscher Elektrotonus: Während der Dauer einer elektrischen Durchströmung findet zwar bei schwachen und mittelstarken Strömen keine Erregung der gebräuchlichen lebenden Objekte statt; ihre Erregbarkeit ist aber im Gebiet der Kathode und der Anode in entgegengesetzter Weise gegenüber dem unbeeinflußten Zustand verändert, im einen gesteigert, im anderen herabgesetzt. Beide Modelle zeigen dieses Phänomen sehr deutlich; beim katalytischen Modell ist es besonders durch die Steigerung bzw. Herabsetzung der Erschütterungsempfindlichkeit leicht zu zeigen.

In engem kausalem Zusammenhang mit der polaren Steigerung und Herabsetzung der Erregbarkeit stehen die Erscheinungen, die man unter dem Namen des *PFLUGER'schen Zuckungsgesetzes* zusammenfaßt. An einem aus mehreren Einzelsystemen zusammengesetzten Blinkschaltungs-Aggregat lassen sich diese Gesetzmäßigkeiten ebenfalls zeigen[12]).

Weitere Analogien: a) Das *Alles-oder-Nichts-Gesetz* gilt für die Blinkschaltung mit denselben Einschränkungen wie für Herz, Nerv und Muskel[13]). b) Wie bei lebenden Objekten muß jeder elektrische Reiz, um wirksam zu werden, eine gewisse Zeit einwirken. Diese ist um so länger, je geringer die angelegte Spannung war[12]) und [14]) *(Reizzeit-Spannungs-Kurve).* c) Das charakteristische Phänomen des *Einschleichens in den Strom* läßt sich an der Blinkschaltung ohne Schwierigkeit aufweisen[14]).

d) Besonders bedeutungsvoll erscheint die folgende Analogie: Schickt man kurze Zeit *nach* dem Beginn eines an und für sich wirksamen Stromstoßes einen Strom entgegengesetzter Richtung durch einen Muskel oder einen Nerven, so wird die *Wirkung des Reizes ausgelöscht!* Genau das gleiche läßt sich sehr klar am *Blinkschaltungssystem* zeigen [12]) und [14]). Hier wie dort geht also der eigentlichen Auslösung der Erregung ein vorbereitender Prozeß voraus, der eine meßbare Zeit in Anspruch nimmt*)

Erregungsleitung: Die Übertragung der Erregung vom Reizort über den ganzen Verlauf eines Nerven oder Muskels stellt man sich nach einer Theorie L. HERMANNs so vor, daß lokale Ströme die noch nicht alterierten Nachbarstrecken in Katelektrotonus versetzen und so erregen, die schon erregten aber anodisch beeinflussen und dadurch dämpfen. Eine solche induktive Erregungsleitung von Ort zu Ort kann an einer Kette aus sinngemäß aneinander gekoppelten Blinkschaltungen ebenfalls aufgezeigt werden. Am katalythischen Modell ergibt sie sich aber ohne weiteres von selbst. Reizt man nämlich die mit H_2O_2 überschichtete Hg-Oberfläche mit einer Glasnadel oder auch elektrisch, so sieht man bei vorher bestehender Katalyse und vorhandener Erschütterungsempfindlichkeit, wie an dieser Stelle die O_2-Entwicklung plötzlich aufhört und daß sich von dort aus der Stillstand nach beiden Seiten mit nicht sehr großer Geschwindigkeit ausbreitet; ist andererseits die Lösung gerade bis zur Inaktivität gesäuert, so breitet sich von der Reizstelle die hervorgerufene Gasentwicklung in derselben Weise aus. Da nachweislich beim Übergang vom aktiven in den passiven Zustand und umgekehrt das Potential zwischen H_2O_2-Lösung und Hg plötzlich sinkt bzw. steigt, so müssen notwendigerweise sowohl mit der Ausbreitung der Inaktivität wie mit der der Aktivität lokale Ströme verbunden sein, die im Sinne einer Erregungsübertragung gedeutet werden können. — In ähnlicher Weise ist die Erregungsübertragung auch bei anderen Modellen zu erklären, vor allem bei dem neuerdings von BONHOEFFER[5]) eingehend untersuchten LILLIEschen Modell des passiven Eisens und auch beim HERMANNschen Kernleitermodell.

*Rhythmizität**).

Es gehört zum Wesen eines Kippsystems, daß es sich bei einer gewissen Energiespeicherung selbsttätig entlädt. Was bei den Auslösungserscheinungen des ruhenden Kippsystems durch den Reiz in Gang gesetzt wurde, die Erreichung der „Zündspannung", tritt bei andauerndem Energiezustrom spontan ein (Fig. 2b). Ist der Zustrom gleichmäßig, so kommt es zu rhythmischen Entladungen, die einander um so schneller folgen, je schneller die Aufladung geschieht und je geringer die Kapazität des Systems ist. So sehen wir denn auch bei den biologischen Objekten meist relativ schnelle Rhythmen, wenn es sich um kleine Aggregate oder gar Einzelzellen handelt (z. B. Wimperschlag der Infusorien), langsamere Rhythmen aber dort, wo große Massen pulsieren (wie z. B. beim Herzen; Fig. 2d). Das hindert nicht, daß manchmal diese langsamen Rhythmen augenscheinlich durch Zusammenarbeit vieler schneller Teilorgane zustandekommen.

Von außen auf das System einwirkende Reize können den Rhythmus stören. Handelt es sich dabei um Einzelreize, so kommt es, wenn die Aufladung des Kippsystems bei ihrem Eintreffen schon wieder eine genügende Höhe erreicht hat, zu „Extrasystolen". Bei spontanem Rhythmus tritt nach einer Extrasystole der nächste Normalschlag ein, sowie die Zündspannung wieder erreicht ist (Fig. 2b), also um so viel früher, als die Extrasystole vorzeitig eintrat (z. B. Sinus des Froschherzens).

Es gibt nun aber auch erzwungene (sekundäre) Rhythmen. Diese kommen dann zustande, wenn ein Kippsystem, das sich selbst überlassen, zwar erregbar, aber untätig ist (Fig. 2c) oder in relativ langsamem Rhythmus pulsiert, von einem anderen selbständig und schneller pulsierenden System rhythmische Erregungen empfängt (Kammer des Froschherzens in Abhängigkeit vom Sinus und Vorhof; Fig. 2d). Trifft ein Extrareiz ein solches abhängiges System, so kommt es nach einer Extrasystole zu einer kompensatorischen Pause, d. h. der nächste Normalschlag setzt erst ein, wenn der übernächste reguläre Reiz eintrifft. Diese Erscheinungen sind seit *MAREY* vom Herzen (und von einigen anderen pulsierenden Organen) bekannt und auch in dieser oder ähnlicher Weise gedeutet worden. Da sie im Wesen der Kippsysteme begründet sind, lassen sie sich auch an den Modellen leicht zeigen, besonders schön an der Blinkschaltung (vergl. Fig. 2c u. d). Fast alle Abweichungen vom normalen Pulsieren des Herzens, welche aus der menschlichen Pathologie bekannt sind, lassen sich an diesem Modell nachahmen[16]); diese Erscheinungen führen aber bereits z. T. in das nächste Kapitel über.

Ein Vergleich der Arbeitsbedingungen der verschiedenen Modelle scheint einiges Licht auf das Wesen der rhythmischen Phänomene lebender Organismen zu werfen. Essentielle Teile eines Kippsystems sind 1. eine Energiequelle, 2. eine Kapazität und 3. eine Spannungsbegrenzung. Bei der Blinkschaltung liegen diese Verhältnisse am klarsten zutage (Fig. 1). Energiequelle ist hier die Batterie; die Kapazität liegt im Kondensator;

*) Dieser Vorgang wie auch der des Einschleichens und einige endre konnten in gemeinsamer Arbeit mit H. SCHAEFER[14]) mit Hilfe des Kathodenstrahl-Oszillographen näher analysiert werden.

**) Zur Theorie der rhythmischen Erscheinungen siehe BONHOEFFER[15]).

die Begrenzung wird durch die Glimmlampe repräsentiert. Kapazität und Begrenzung können in einem zusammenrücken, wenn es sich um einen Kondensator handelt, der bei einer bestimmten Spannung durchschlägt. Das ist schon bei der Glimmlampe möglich; ihre Kapazität ist aber in der Regel so gering und der zum Betrieb notwendige Energiezufluß liegt so dicht an der Stärke eines Ladestroms, der zum Dauerleuchten genügt (Ladestrom dann stärker als „Löschstrom"), daß es ohne Zufügung einer größeren Kapazität meist nicht zu Kippschwingungen kommt. In anderen Fällen können aber die notwendigen Bedingungen erfüllt sein. Das ist vor allem beim katalytischen Modell anzunehmen; die Wiederaufladung der Kapazität der Grenzschicht würde dort dem chemischen Prozeß zuzuschreiben sein.

Von den rhythmischen Vorgängen der Organismen ist anzunehmen, daß sie in ihrer Entstehung denen am katalytischen Modell ähneln. Die zu fordernden Kondensator- und Begrenzungseigenschaften wird man in elektrische Doppelschichten verlegen dürfen, die ja ohne Zweifel vorhanden sind (z. B. in den semipermeablen Membranen der Zellwände) und deren Wiederaufladung wird man auf einen ständigen, wenn auch sehr geringen Stoffwechsel zurückführen[4]). Dieses Bild noch weiter zu spezialisieren, liegen z. Z. keine genügenden Anhaltspunkte vor.

Die periodischen Erscheinungen.

Ein gleichmäßiger Rhythmus wird zum periodischen Rhythmus, wenn er in mehr oder weniger regelmäßig sich wiederholender Folge durch Pausen oder durch Entladungen abweichender Form unterteilt ist. Die Entstehungsweise solcher Perioden ist in der belebten wie in der unbelebten Natur sehr verschieden. Sie können im lebenden Organismus wie im künstlichen Modell sowohl bei erzwungenen wie bei spontanen Kippschwingungen auftreten und bei beiden Klassen wieder auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden. Besonders übersichtlich lassen sich diese Verhältnisse an der Blinkschaltung demonstrieren:

a) Perioden bei erzwungenen Kippschwingungen: Wird ein spontan nicht pulsierendes System mit einem sich selbsttätig rhythmisch entladenden gekoppelt, so möge das abhängige System zunächst jedem Impuls des spontanen Systems folgen (Fig. 3, I u. II). Wird jetzt die Frequenz des Schrittmachers beschleunigt oder die Anspruchsfähigkeit des Gefolgsystems herabgesetzt (Fig. 3), so wird dieses bald an einen Punkt kommen, wo es den Impulsen nicht mehr recht zu folgen vermag, weil

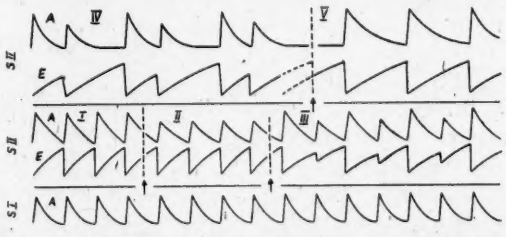


Fig. 3. Blinkschaltungsversuche. Anordnung und Bezeichnungen wie in Abb. 2c; Schrittmacherkurve (SI) gilt für die Kurven I—V von SII. Anspruchsfähigkeit von S II von Versuch I—V jeweils beim Pfeil vermindert durch Herabsetzung der Heizung der Elektronenröhre (L in Abb. 1). In II Herabsetzung der Amplitude wegen Verminderung der Aufladegeschwindigkeit. III Alternans. IV Kurve Wenckebachsche Perioden. (2 : 3). V Halbrhythmus (1 : 2).

seine Aufladung noch nicht nach jeder Entladung wieder weit genug gediehen ist. Es kann dann zu verschiedenen Rhythmusänderungen kommen[16]): Entweder wechseln größere und kleinere Entladungen miteinander ab (Fig. 3, III; pulsus alternans der Herzpathologie) oder die Intervalle werden allmählich etwas größer, bis nach einer gewissen Zeit ein Impuls unbeantwortet bleibt (Fig. 3, IV; WENCKEBACHsche Perioden), oder es bleibt jeder zweite Puls aus, so daß wieder ein regelmäßiger Rhythmus von halber Frequenz zustandekommt (Fig. 3, V). Bei fortschreitendem Mißverhältnis zwischen Frequenz des Schrittmachers und Anspruchsfähigkeit des Gefolgsystems kann sich das gleiche Spiel mehrfach wiederholen (Halbrhythmus-Alternans usw.).

Perioden von je zwei ungleich großen Entladungen können bei erzwungenem Rhythmus aber noch auf andere Weise zustandekommen zum Beispiel dadurch, daß jeder reguläre Impuls von einer ferner gelegenen Stelle erhöhter Erregbarkeit reflektiert wird. Die so entstehenden Bigemini sind mit den „festgekoppelten Extasystolen" der menschlichen Pathologie vergleichbar[16]).

b) Perioden bei spontanen Kippschwingungen: Ein einzelnes spontan kippendes System zeigt in der Regel Schwingungen von gleichem Abstand und gleicher Amplitude (Ausnahmen siehe weiter unten). Koppelt man aber zwei solcher Systeme aneinander (bei der Blinkschaltung z. B. durch einen Transformator), so beeinflussen sie sich gegenseitig in verschiedenartiger Weise. Besonders auffallend sind diese Einflüsse, wenn sich beide im „labilem Zustand" befinden; das soll bedeuten, daß sie nahe an der Grenze sind, wo das Pulsieren in Dauerleuchten übergeht. Es kommen dann —

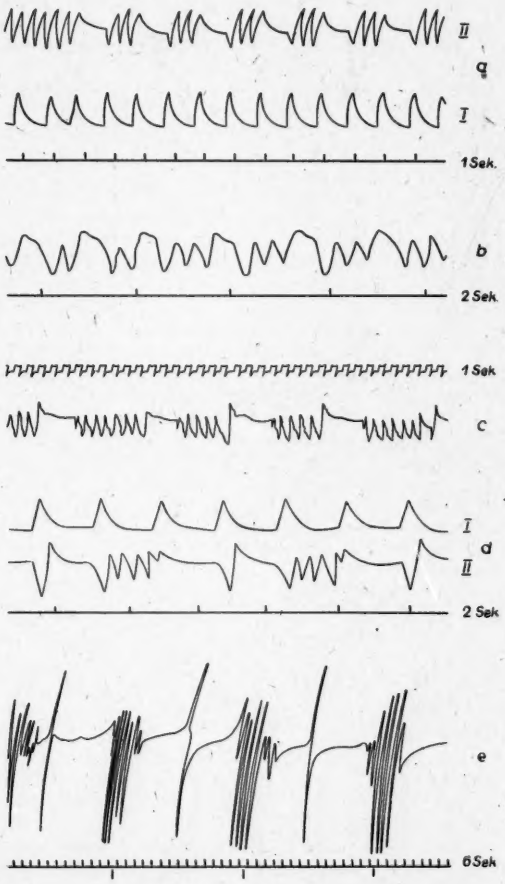


Fig. 4. Periodenbildung. a) Blinkschaltungsversuch. Durch ein langsampulsierendes Schrittmachersystem I an dem schneller und ebenfalls spontan pulsierenden System II hervorgerufenes periodisches Aussetzen. b) Ähnliche, aber spontan auftretende Perioden eines einzelnen Blinkschaltungssystems. c) Cheyne Stockes'sches Atmen einer Eidechse bei 43° (nach HERTER), d) induzierte Periodik einer Blinkschaltung ähnlich wie a aber andere Form. e) Cheyne Stokes'sches Atmen von Menschen (nach Uhlenbruck), ungewöhnliche Form, Analogon zu d. (Am rechten Ende Übergang in die gewöhnliche Form.)

oft an beiden Systemen — Periodenbildungen zustande, unter anderen Bigemini verschiedener Form und längere, durch Pausen getrennte Gruppen[17]). Parallelen zu diesen Erscheinungen kommen bei lebenden Organismen vor, scheinen aber nicht häufig zu sein; dagegen tritt bei diesen offenbar nicht selten der Fall ein, daß ein relativ stabiles und langsam kippendes System ein schnelleres und labiles System beeinflußt, das dazu neigt, in „tonischen" Zustand (wie beim „Dauerleuchten") überzugehen. Dieser Annahme liegen Beobachtungen zugrunde, die man unter solchen Umständen an gekoppelten Blinkschaltungen machen kann (Fig. 4a) und die *den* Perioden bis in manche Einzelheiten ähneln (vergl. Fig. 4d u. e), die aus der menschlichen Pathologie als *Cheyne-Stokessche Atmung* sowie andererseits aus der Physiologie als Lucianische Perioden bekannt sind[17]).

Das wogende Atmen, das als Vorstufe des Cheyne-Stokes anzusehen ist, kommt schon bei normalen Menschen und manchen Tieren besonders im Schlaf zur Beobachtung. Bei verdünnter Luft z. B. auf hohen Bergen geht es in Cheyne-Stokes über, indem von Zeit zu Zeit die Atembewegungen abebben und ganz zum Stillstand kommen, um nach einiger Zeit wieder zu beginnen. Bei den LUCIANI'schen Perioden, die zuerst am Herzen beobachtet wurden, tritt der vorübergehende Stillstand unvermittelt ein.

Der periodische Rhythmus ist nun etwas in der lebenden Natur außerordentlich Verbreitetes und durchaus nicht immer etwas Pathologisches, ja er gehört bei vielen Tieren zum Bild des normalen Verhaltens. Wir finden ihn z. B. bei der Fortbewegung von Drosseln und Eichhörnchen, beim Scharren der Hühner, bei den Putzbewegungen von Fliegen, Enten und Schwänen, bei den Stimmäußerungen von Vögeln und Hunden und bei vielen anderen Gelegenheiten[17]).

Nur in verhältnismäßig wenigen Fällen ließ sich bisher der periodische Rhythmus biologischer Objekte auf das Eingreifen eines fremden, langsameren Rhythmus zurückführen. Wahrscheinlich ist dies z. B. beim periodischen Aussetzen der Saugbewegungen des Kindes der Fall, indem die Schluckbewegung den Rhythmus unterbricht. Bei vielen anderen der genannten und nicht genannten Beispiele liegt aber kein genügender Grund vor, auf die Beteiligung eines fremden Rhythmus zurückzugreifen. Es war daher zu untersuchen, ob nicht auch ein rhythmisch sich entladendes Einzelsystem unter Umständen in periodischen Rhythmus übergehen kann. Bei der Blinkschaltung ist dies in der Tat möglich. In dem labilen Zustand, von dem schon oben die Rede war, beobachtet man einerseits, daß ein auf rhythmische Entladung eingestelltes System ohne äußeren Anlaß manchmal in Dauerleuchten übergeht, andererseits aber auch, daß ein auf Dauerleuchten eingestelltes nach einiger Zeit spontan zu pulsieren anfängt. Es lassen sich nun Umstände finden, unter denen dieser Wechsel zwischen aktiv und passiv und zwischen passiv und aktiv selbsttätig sich wiederholend in Erscheinung tritt (Fig. 4b). Man wird daher annehmen können, daß Periodenbildung ohne Eingreifen eines anderen rhythmischen Systems auch bei lebenden Organismen zustandekommen kann (Fig. 4c).

In diesem Zusammenhang erscheint die Feststellung wichtig, daß es auch beim katalytischen Modell zu Perioden kommen kann. Bereits WILKE[7]) und BREDIG und WILKE[7]) haben Perioden verschiedener Form am einfachen System Hg-H_2O_2 beobachtet — meist erst nach Zusatz gewisser Neutralsalze oder mancher Kolloide. Es handelte sich dabei entweder um einfache Bigemini oder um mehrgipfelige Kurven oder auch um längere Perioden rhythmischer Aktivität, die mit Perioden „tonischen" Stillstandes abwechselten („Guirlanden") — alles Formen, die auch an Organismen vorkommen. Die Bigemini z. B. kommen, wie eigene Beobachtungen zeigten, so zustande, daß sich die Katalyse — etwa vom Zentrum einer kreisförmigen Hg-Oberfläche — bei dem kleinen Puls nicht bis zum Rande ausbreitet, sondern auf halbem Wege zum Stillstand kommt, bei dem großen Puls aber den Rand erreicht und erst dann aussetzt. Entsprechend ändert sich alternierend das Potential zwischen Hg und Flüssigkeit.

Über die eigentliche Ursache, warum der gleichförmige Rhythmus bei gewissen Änderungen des Milieus in periodischen Rhythmus übergeht, läßt sich noch nichts sagen; nur das ist wahrscheinlich, daß auch hier wie bei den entsprechenden Phänomenen an der Blinkschaltung ein gewisser Grad der Labilität Voraussetzung der Periodenbildung ist.

Von den vielen Modellen, die bisher zum Vergleich mit den Erregungserscheinungen biologischer Objekte herangezogen sind (ich nenne nur den Kernleiter, das passive Eisen, die Blinkschaltung und die Wasserstoffsuperoxyd-Katalyse), bietet die Blinkschaltung die vielseitigsten experimentellen Möglichkeiten; den in den Lebewesen vorliegenden Bedingungen dürfte aber das *katalytische Modell* am nächsten kommen. Die unlösliche Koppelung chemischer und elektrischer Vorgänge, die zweifellos auch den biologischen Irritabilitätsphänomenen zu eigen ist, zeichnet zwar alle vier Modelle aus (wenigstens, wenn man ionale Vorgänge noch den chemischen Prozessen zurechnet), aber das Hg-H_2O_2-Modell steht den Lebensvorgängen deswegen näher, weil bei ihm ein katalytischer Prozeß die Grundlage des Geschehens bildet und weil eine Reihe von Bedingungen, die bei den Organismen funktionsbestimmend sind, in gleicher oder ähnlicher Weise auch hier erfüllt sein müssen (bestimmte p_H in der Nähe des Neutralpunktes, Ausbalancierung zugesetzter Neutralsalze, Menge und Art gegenwärtiger Kolloide und so weiter).

BREDIG hatte bereits klar erkannt, daß die H_2O_2-Katalyse wichtige Analogien zu einer Reihe von Lebensvorgängen bietet und hatte sich deswegen in mehreren Arbeiten unmittelbar an die Physiologen gewandt; diese haben aber seinen Befunden kaum Beachtung erwiesen. Es ist eine Ehrenschuld, die wir gegenüber dem toten Gelehrten abzutragen haben, seine Verdienste um unsere Wissenschaft, die ja für diese auch noch auf anderen Gebieten liegen, jetzt gebührend ins Licht zu stellen.

Zusammenfassung.

Die Analogien zwischen den Formen und Gesetzmäßigkeiten einer Reihe biologischer Erscheinungen (Irritabilität, Rhythmik, Periodik) einerseits und den Vorgängen an verschiedenen Kippmodellen (insbesondere einer Blinkschaltung und eines katalytischen Modells) andererseits gehen soweit, daß es sich um mehr als um Äußerlichkeiten handeln muß. Man wird daher den Schluß ziehen, daß ein und derselbe Grundvorgang im einen wie im anderen Fall die Ursache dieser Ähnlichkeit ausmacht — nämlich eine relativ langsame Aufladung der betreffenden Systeme mit Energie, die nach Erreichung eines Maximums — ganz oder teilweise — zur Entladung kommt, um danach jedesmal von Neuem dem Maximum zuzustreben. Wird dieses von selbst nicht erreicht, so kann ein äußerer Anstoß (Reiz) zur Überwindung der Schwelle führen (Irritabilität ruhender Systeme); wird das Maximum („Zündspannung") aber spontan erreicht, so kommt es zu rhythmischen Entladungen (Kippschwingungen). Diese wiederum können, von anderen rhythmisch tätigen Systemen beeinflußt oder bei geeigneten Aufladebedingungen spontan, in verschiedene Formen des periodischen Rhythmus übergehen.

Eingegangen am 18. Juni 1946.

Literatur.

1. BETHE, A.: Pflügers Arch. **142**, 335 (1911). — 2. WOHLISCH, E.: Naturwiss. **28**, 305, (1940). FLECKENSTEIN, A.: Pflügers Arch. **246**, 411 (1942). — 3. HILL, A. V.: Journ. Physiol. **42**, (1911), **46** u. **47** (1913. HILL, A. V. u. HARTREE: J. Physiol. **54** (1920), **55** (1921),

56 (1922). — 4. BETHE, A.: Pflügers Arch. **244**, 1 (1940). — 5. BONHOEFFER, K. F.: Naturwiss. **31**, 270, (1943). — 6. POL, BALTH, VAN DER u. J. VAN DER MARK: Philosoph. Mag. **6**, Suppl. 763 (1928). — POL, BALTH. VAN DER: Réunion intern. Physique Chim, Biol. Paris **1937**, 69. — 7. BREDIG, G. u. J. WEINMAYER: Z. physik. Chem. **42**, 601 (1903). BREDIG, G. u. E. WILKE: Biochem. Z. **11**, 67 (1908). WILKE, E.: Diss. Heidelberg **1904**. ANTROPOFF, A. VON: Z. physikal. Chem. **62**, 513 (1908). — 8. BETHE, A.: Z. physikal. Chem. (noch nicht erschienen). 9. BETHE, A. u. TH. TOROPOFF: Z. physikal. Chem. **89**, 597 (1915). — 10. BETHE, A.: Pflügers Arch. **163**, 147, **177** (1916). — 11. SCHAEFER, H.: Elektrophysiologie, Wien **1940**. — 12. BETHE, A.: Naturwiss. **31**, 276, (1943). — 13. BETHE, A.: Pflügers Arch. **244**, 43, (1940). — 14. BETHE, A. u. H. SCHAEFER: Pflügers Arch. (noch nicht erschienen). — 15. BONHOFFER, K. F.: Sächs. Akad. Leipzig math. phys. Kl. **95**, 57 (1943). — 16. BETHE, A.: Klin. Wchschr. **20**, 33 (1941). — 17. BETHE, A.: Pflügers Arch. **246**, 485 (1943).

Kurze Originalmitteilungen

Zur Mitte-Rand-Variation der Fraunhoferlinien auf der Sonnenscheibe.

Zu den wichtigsten Hilfsmitteln, den Aufbau der Sonnenatmosphäre zu bestimmen, gehört die Beobachtung, wie sich die Profile von Fraunhoferlinien ändern, wenn man von der Mitte der Sonnenscheibe längs eines Radius zum Rand fortschreitet. Zur theoretischen Deutung der Beobachtungen benutzt man schematisierte Modellatmosphären und untersucht die beiden Fälle, daß der Strahlungsaustausch in einer Linie vorwiegend dem Schema „Absorption" oder dem Schema „Streuung" entspricht. Von entscheidender Wichtigkeit ist in jedem Falle die Temperaturschichtung in der Modellatmosphäre. Im allgemeinen beschränkt man sich darauf, daß die spektrale Ergiebigkeit (PLANCKsche Funktion) linear mit der optischen Tiefe anwächst. Für den Fall der Linienflügel, d. h. wenn die Linienabsorption und -streuung klein sind im Vergleich zur kontinuierlichen Absorption, ist UNSÖLD[1]) und MINNAERT[2]) die Berechnung der Flügelprofile für eine beliebig geschichtete Atmosphäre gelungen. Ein wichtiger Fall, der im folgenden näher betrachtet werden soll, ist das sogenannte MILNE-EDDINGTON-Modell mit Absorption. In diesem Modell erfolgt die Linienabsorption in den gleichen Schichten wie die kontinuierliche Absorption, und das Verhältnis des Linien- ($\varkappa_\nu$) zum kontinuierlichen Absorptionskoeffizienten ($\varkappa$) wird als konstant durch die Atmosphäre angenommen. Wir zeigen im folgenden, daß dann die *Mitte-Rand-Variation der Linienflügel direkt gegeben ist durch die Mitte-Rand-Variation des kontinuierlichen, der Linie benachbarten Spektrums.* Wir schließen uns an die Schreibweise von UNSÖLD in „Physik der Sternatmosphären", Kapitel XII, insbesondere § 67, an.

Im Falle des Strahlungsstroms (über die Scheibe gemittelte Strahlung) läßt sich die Tiefe der Linienflügel $R = \frac{F_0 - F}{F_0}$ in die Form bringen:

$$R = \frac{\varkappa_\nu}{\varkappa} \int_0^\infty G(\tau)\, d\tau. \tag{1}$$

Dabei bedeutet τ die optische Tiefe für kontinuierliche Strahlung neben der Linie und $G(\tau)$ die Gewichtsfunktion

$$G(\tau) = \frac{\Phi(\tau) - E(\tau) K_2(\tau)}{\int_0^\infty E(\tau) K_2(\tau)\, d\tau} \tag{2}$$

welche festlegt, in welchem Maß die Schichten verschiedener optischer Tiefe zur Ausstrahlung beitragen. In diesem Ausdruck ist $E(\tau)$ die spektrale Ergiebigkeit,

$$\Phi(\tau) = \int_\tau^\infty E(\tau) K_1(\tau)\, d\tau \tag{3}$$

und

$$K_n(\tau) = \int_1^\infty \frac{e^{-\tau}}{x^n}\, dx. \tag{4}$$

Ich konnte zeigen[3]), daß sich das Integral in Gl. (1) in die Form bringen läßt

$$\int_0^\infty G(\tau)\, d\tau = 2\left(\frac{I(0,0)}{\bar{I}(0)} - 1\right), \tag{5}$$

wo $I(0,0)$ die Intensität in der Mitte der Sonnenscheibe, $\bar{I}(0)$ die mittlere Intensität der Scheibe bedeuten. Da sich beide Intensitäten auf die kontinuierliche Strahlung neben der Linie beziehen, so erkennt man aus Gl. (1) und Gl. (5), daß im Fall des Strahlungsstroms beim ME-Modell mit Absorption die Tiefe der Linienflügel direkt gegeben ist durch das beobachtbare Verhalten des kontinuierlichen Spektrums. Man braucht dabei auf den Verlauf der spektralen Ergiebigkeit mit der optischen Tiefe nicht einzugehen. Diese Tatsache veranlaßte mich, nach einer entsprechenden Lösung für die Mitte-Rand-Variation der Linienflügel zu suchen, die im folgenden mitgeteilt wird.

Im ME-Modell mit Absorption kann die Tiefe der Linienflügel nach UNSÖLD entsprechend Gl. (1) in die Form

$$r(\vartheta) = \frac{I_0(\vartheta) - I(\vartheta)}{I_0(\vartheta)} = \frac{\varkappa_\nu}{\varkappa} \int_0^\infty g(\tau, \vartheta)\, d\tau \tag{6}$$

gebracht werden. Die Gewichtsfunktion $g(\tau, \vartheta)$ hat die Form

$$g(\tau, \vartheta) = \frac{\Phi^*(\tau) \sec\vartheta - E(\tau) e^{-\tau \sec\vartheta} \cdot \sec\vartheta}{\int_0^\infty E(\tau) e^{-\tau \sec\vartheta} \cdot \sec\vartheta\, d\tau} \tag{7}$$

Hierin ist

$$\Phi^*(\tau) = \int_\tau^\infty E(\tau) e^{-\tau \sec\vartheta} \cdot \sec\vartheta\, d\tau. \tag{8}$$

Wir haben die Gewichtsfunktion $g(\tau, \vartheta)$ über τ von 0 bis ∞ zu integrieren. Durch partielle Integration findet man zunächst

$$\int_0^\infty \Phi^*(\tau)\, d\tau = \int_0^\infty \tau E(\tau) e^{-\tau \sec\vartheta} \cdot \sec\vartheta\, d\tau,$$

und damit

$$\int_0^\infty g(\tau, \vartheta)\, d\tau = \sec\vartheta \frac{\int_0^\infty \tau E(\tau) e^{-\tau \sec\vartheta} \cdot \sec\vartheta\, d\tau}{\int_0^\infty E(\tau) e^{-\tau \sec\vartheta} \cdot \sec\vartheta\, d\tau} - 1 \tag{9}$$

Nun ist aber

$$\tau e^{-\tau \sec\vartheta} \cdot \sec\vartheta = e^{-\tau \sec\vartheta} - \frac{d}{d \sec\vartheta}\left(e^{-\tau \sec\vartheta} \cdot \sec\vartheta\right). \tag{10}$$

Damit erhält man aus Gl. (9)

$$\int_0^\infty g(\tau, \vartheta)\, d\tau = -\sec\vartheta \frac{\frac{d}{d \sec\vartheta} \int_0^\infty E(\tau) e^{-\tau \sec\vartheta} \cdot \sec\vartheta\, d\tau}{\int_0^\infty E(\tau) e^{-\tau \sec\vartheta} \cdot \sec\vartheta\, d\tau}. \tag{11}$$

Die in Gl. (11) auftretenden Integrale stellen aber nichts anderes dar als die Intensität des kontinuierlichen Spektrums an der Stelle ϑ auf der Sonnenscheibe. Also hat man

$$\int_0^\infty g(\tau, \vartheta)\, d\tau = -\frac{\sec\vartheta}{I_0(\vartheta)} \cdot \frac{d I_0(\vartheta)}{d \sec\vartheta}. \tag{12}$$

Damit kann man Gl. (6) in die für die praktische Rechnung besonders bequeme Form bringen

$$r(\vartheta) = \frac{\varkappa_\nu}{\varkappa} \frac{d \log I_0(\vartheta)}{d \log \cos\vartheta}. \tag{13}$$

Man sieht aus Gl. (13), daß die Mitte-Rand-Variation der Linienflügel im ME-Modell mit Absorption festgelegt ist durch die beobachtbare Mitte-Rand-Variation des kontinuierlichen Spektrums neben der Linie. Auch hier braucht man also nicht auf die Temperaturschichtung explizit zurückzugreifen.

In der folgenden Tabelle sind nach Gl. (13) die Tiefen der Linienflügel für Linien in vier verschiedenen Spektralbereichen als Funktion von cos ϑ nach den Randverdunkelungsmessungen von RAUDENBUSCH[4]) berechnet. Wir gehen dabei aus von einer Linien-

Tabelle 1. Tiefe der Linienflügel im ME-Modell mit Absorption.

cos ϑ	λ 670	λ 596	λ 506	λ 426	cos ϑ	λ 670	λ 596	λ 506	λ 426
	in Prozenten					in Prozenten			
1,00	10	10	10	10	0,50	8	8	9	8
0,90	9	9	10	10	0,40	7	8	8	8
0,80	9	9	9	9	0,30	7	7	8	10
0,70	9	9	9	9	0,263	8	5	8	12
0,60	9	9	9	9					

tiefe von 10 % in der Mitte der Sonnenscheibe Einen solchen Gang müßten also die Flügel von Linien aufweisen, für die das Schema Absorption bezüglich des Strahlungsaustauschs zutrifft und die zu Atomen gehören, deren Schichtung in der Sonnenatmosphäre einigermaßen dem ME-Modell entspricht.

Göttingen, Universitäts-Sternwarte.

P. TEN BRUGGENCATE.

Eingegangen im Oktober 1944.

1) Z. Aphys. 4, 339 (1932).
2) Z. Aphys. 12, 313 (1936).
3) Z. Aphys. 23, 119 (1944).
4) Astr. Nachr. 266, 301 (1938).

Mc. LENNANS Hochfrequenz-Beobachtungen an Supraleitern.

1932 veröffentlichten Mac LENNAN, A. C. BURTON, A. PITT und J. O. WILHELM zwei Untersuchungen über das Verhalten von Supraleitern gegenüber HERTZ'schen Schwingungen von 10^6—10^7 HERTZ[1]). Sie fanden noch einige Zehntel Grad unterhalb der mit Gleichstrom bestimmten Übergangstemperatur einen Widerstand und sprachen daraufhin von einer Herabsetzung des Sprunges durch die Schwingungen. Diesen Schluß lehnten aber die meisten Physiker aus guten Gründen ab, und so gerieten jene Messungen allmählich in Vergessenheit.

Später, nach Abschluß meiner durch die MacLENNAN'schen Messungen veranlaßten Überlegungen, erfuhr ich von einer Messung HEINZ LONDONs[2]), welche den Hochfrequenzwiderstand eines Ellipsoides aus Zinn unterhalb des Sprungpunktes durch dessen Wirbelstrom-Erwärmung in einem Magnet-Wechselfeld von etwa 10^{10} Hertz Schwingungszahl nachweist. Nach beiden Beobachtungen geht am Sprungpunkt der Widerstand des Supraleiters stetig in den des Normalleiters über.

Die von FRITZ LONDON 1937 begonnene, von mir 1942 konsequent ausgebaute Elektrodynamik der Supraleiter, eine Erweiterung der MAXWELL'schen Theorie[3]), vermag jedoch die genannten Beobachtungen zwanglos zu deuten. Sie fordert geradezu neben dem Supraleitungsmechanismus noch einen OHM'schen Leitungsmechanismus, um zu glaubhaften Ergebnissen über das Abklingen von Raumladungen im Supraleiter zu gelangen. Zwar, bei stationären Strömen schließt der Supraleitungsmechanismus den OHM'schen Mechanismus kurz, so daß dessen Widerstand nicht in Erscheinung tritt. Bei Schwingungen jedoch übernimmt die OHM'sche Leitung einen um so größeren Teil des Gesamtstroms, je höher die Schwingungszahl ist. Dieses Anwachsen mit der Schwingungszahl haben Mc. LENNAN und seine Mitarbeiter am Zinn auch tatsächlich beobachtet.

Wie ich in einer demnächst in der Zeitschrift für Physik erscheinenden Arbeit zeige, vermag ferner der Skineffekt, wie er sich nach der genannten Theorie für Supraleiter berechnet, die Kurve zwanglos in allen Einzelheiten qualitativ zu deuten, welche die erwähnten Autoren für den Hochfrequenzwiderstand des supraleitenden Tantal als Funktion der Temperatur geben. Nur muß man den von T. S. APPLEYARD, J. R. BRISTOW und HEINZ LONDON einerseits, von D. SHOENBERG andererseits am Qecksilber beobachteten steilen Anstieg der Supraleitungskonstanten λ bei Annäherung an den Sprungpunkt[4]) auf Tantal übertragen, und dazu die elektronentheoretisch höchst glaubhafte Annahme machen, daß die OHM'sche Leitfähigkeit an dem Sprungpunkt mit abnehmender Temperatur eine mäßige Verringerung erfährt. Dies ist deshalb so plausibel, weil ein Übergang von Leitungselektronen zum Supraleitungsmechanismus den OHM'schen Mechanismus kann unbeeinträchtigt lassen kann. Diese Verminderung der Leitfähigkeit bewirkt dicht unter dem Sprungpunkt einen Anstieg des Hochfrequenzwiderstandes, dann aber bewirkt die mit sinkender Temperatur fortschreitende Umstellung der Leitung vom OHM'schen auf den Supraleitungs-Mechanismus einen Abfall des Widerstandes, der bei den genannten Frequenzen einige Zehntel Grad unter dem Sprungpunkt zu unmeßbar kleinen Beträgen führt. Dies ist das Charakteristische an der Mc. LENNAN'schen Widerstandskurve.

Außer diesen qualitativen Schlüssen läßt sich aber noch ein recht sicherer Schluß auf die Größenordnung der Konstanten λ in einem solchen Abstand vom Sprungpunkt ziehen. Sie muß etwa gleich 10^{-27} sec^2 sein (im LORENTZ'schen Maßsystem), was einer Eindringtiefe für ein stationäres Magnetfeld von $3.10^{10}\sqrt{\lambda}$ also etwa von 10^{-3} cm entspricht. Frühere Angaben über Eindringtiefen gaben die Größenordnung 10^{-5} cm, aber sie beziehen sich auf Temperaturen, die tiefer unter dem Sprungpunkt liegen, übrigens auch auf andere Supraleiter. Die Tatsache, daß sich ein Supraleiter vom Normalleiter optisch nicht merkbar unterscheidet, hatte ich a. a. O. als einen Beweis für den OHM'schen Widerstand der Supraleiter hingestellt. Dem könnte man ja vielleicht entgegenhalten, daß sich auch beim Normalleiter die optischen Konstanten nicht ohne weiteres aus den elektrisch gemessenen Konstanten ableiten lassen. Deswegen scheint es mir von besonderer Bedeutung, daß in den Messungen von Mc. LENNAN und seinen Mitarbeitern einerseits, HEINZ LONDON andererseits ein mit rein elektrischen Methoden erbrachter Beweis für den OHM'schen Widerstand der Supraleiter liegt.

Max Planck-Institut der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft.

MAX v. LAUE.

Eingegangen im Januar 1945.

1) Proc. Roy. Soc. 136, 52 (1932) und 138, 245 (1932).
2) H. LONDON, Proc. Roy. Soc. 176, 522 (1940). — Genau genommen sind beide Methoden nicht gleichwertig. Denn die Erwärmung ist nur bei konstanter Stromstärke ein Maß des Widerstandes und bei LONDON wurde nicht sie, sondern das erregende Feld auf konstanter Stärke gehalten. Doch ist dieser Unterschied vielleicht unwesentlich. (Zusatz vom Mai 1946.)
3) F. LONDON. Une conception nouvelle de la supraconductibilite, Paris 1937, M. v. LAUE, Ann. d. Phys. 42, 65 (1942).
4) Nature 143, 433 und 434 (1939).

Über die Trennung von o-H_2 und p-H_2 durch Thermodiffusion im Trennrohr.

Nach den von CHAPMAN (1) und ENSKOG (2) entwickelten Vorstellungen über die Thermodiffusion ist eine teilweise Trennung eines Gasgemisches in seine Komponenten beim Vorliegen eines Temperaturgradienten nur möglich, wenn die Massen der Molekeln der einzelnen Komponenten oder deren zwischenmolekulare Kräfte sich unterscheiden. Auf Grund einer thermodynamisch-statistischen Überlegung (s. unten) ergab sich indessen, daß eine Trennung auch im Falle einer Mischung von o-H_2 und p-H_2 möglich sein sollte, wobei wobei sich der p-H_2 als „schwere" Komponente erweisen müßte. Der Effekt sollte vornehmlich bei tiefen Temperaturen auftreten. Eine Erklärung dieses Effekts allein auf Grund verschiedener Molekularkräfte(3) oder verschiedener Massen ist hier unmöglich.

Wir haben diese theoretische Folgerung geprüft, indem wir Normalwasserstoff (75 % o-H_2 und 25 % p-H_2) in ein Trennrohr nach CLUSIUS und DICKEL(4) von ca. 1 m Länge (Durchmesser = 8 mm) brachten, dessen Wandung mittels flüssiger Luft auf 80° K gehalten wurde, während der zentral darin aufgespannte Draht (Durchmesser = 0,04 mm) auf 220° K aufgeheizt wurde. Nach Einstellung des stationären Endzustandes ermittelten wir eine Trennung um 4,8 % zwischen den beiden Enden des Trennrohrs, wobei der p-H_2 sich am unteren Ende und der o-H_2 dementsprechend am oberen anreicherte . Die Analyse auf den p-H_2 Gehalt wurde in der üblichen Weise über das Wärmeleitvermögen

durchgeführt. Gingen wir von einem Gemisch von 50 % o-H_2 und 50 % p-H_2 aus, so erhielten wir nur eine Trennung um 2,6%, obwohl nach CHAPMAN und ENSKOG (l. c.) die Thermodiffusion proportional zu γ $(1-\gamma)$ sein solte (γ = Molenbruch) also bei $\gamma = 0{,}5$ größer sein müßte, als bei $\gamma = 0{,}25$. Die absolute Größe des Gesamteffekts wie auch die Tatsache, daß die Trennung bei Normalwasserstoff größer ist als bei dem 50%igen Gemisch wird von der erwähnten Theorie erklärt. Überhaupt wird der Trennfaktor α der Thermodiffusion, der mit γ $(1-\gamma)$ multipliziert direkt die Größe der Trennung angibt um so größer, je mehr o-H_2 in der Mischung vorhanden ist. Hiermit ist auch der Weg zur Gewinnung von o-H_2 aufgezeigt, indem man durch Verwendung längerer Trennrohre die Trennung auf nahezu 100 % hinauftreibt.

Es ist hier nicht der Platz, um die thermodynamisch-statistische Berechnung des Thermodiffusionseffektes näher auszuführen. Sie beruht darauf, daß man bei Festhaltung des Mischungsverhältnisses an einer geeignet bestimmten Stelle eines in einem Temperaturgefälle befindlichen Rohres eine Konzentrationsverteilung längs des Rohrs derart bestimmt, daß die Entropie einen Maximalwert erreicht. Man erreicht dies eben dadurch, daß man normalerweise die Komponente, die die höhere Entropie besitzt, am kalten Ende anreichert. Die Größe des Trenneffekts erweist sich als um so größer, je weniger stark die Wärmeleitfähigkeit der Gaskomponente mit steigender Temperatur zunimmt. Auf dieser letzten Tatsache beruht der oben erwähnte Effekt, daß die Trennung des 50 %igen p-H_2 Gemischs geringer ist, weil eben die Wärmeleitfähigkeit dieses Gemischs stärker mit der Temperatur ansteigt als die des 25 %igen Parawasserstoffs; ja es ist sogar anzunehmen, daß der Trenneffekt das Vorzeichen wechselt, wenn man mit einem noch stärkeren p-H_2-Gehalt in der Ausgangsmischung beginnt. Da die Entropiedifferenz bei Wasserstoffmodifikationen nach hohen Temperaturen hier verschwindet, war es eben zur Erzielung deutlicher Effekte zweckmäßig, die Trennung, wie oben beschrieben, bei tiefen Temperaturen vorzunehmen.

Diese neuartigen Thermodiffusionseffekte werden von der thermodynamisch-statistischen Theorie nur bei mehratomigen Moleken vorhergesagt, während man bei einatomigen Molekeln die CHAPMAN'schen Resultat wiedererhält; es gelingt mit ihr natürlich ebenfalls, die Thermodifussionskonstante zu berechnen, wenn man die Wärmeleitfähigkeitsverhältnisse der Gasmischung genau kennt. Wegen einer ausführlichen Wiedergabe dieser neuen Berechnung der Thermodiffusionskonstanten muß auf eine spätere ausführlichere Arbeit verwiesen werden.

Göttingen und Heidelberg, Institut für physikalische Chemie der Universität.

K. SCHÄFER u. H. CORTE.

Eingegangen 28. 8. 46.

Literatur.

1. S. CHAPMAN, Phil. Trans. Roy. Soc. London (A) 217 (1917), 124, 181. — 2. D. ENSKOG Dissertation Upsala (1917). — 3. K. SCHÄFER, Z. physik. Chem. (B) **36** (1937) 85. — 4. K. CLUSIUS u. G. DICKEL. Z. physik. Chem. (B) **44**, (1939) 397, 451.

Photochemische Spaltung des Kohlenoxyd-Myoglobins durch ultraviolettes Licht (Übertragung der Lichtenergie durch die Proteinkomponente des Pigments).

Lösungen von Kohlenoxyd-Myoglobin wurden mit monochromatischem Licht gemessener Intensität bestrahlt; die dadurch bewirkte Spaltung in Kohlenoxyd und Myoglobin[1]) wurde spektrophotometrisch bestimmt.

Tabelle 1.

Wellenlänge mμ	$\varphi = \frac{\text{Ausbeute Moleküle CO abgespalten}}{\text{Lichtquanten absorbiert}}$
280	1,01 ± 5 % (in 7 Versuchen)
313	0,97 ± 3 % (in 2 Versuchen)
334	1,08
366	0,99 ± 2 % (in 2 Versuchen)
546	0,90 ± 5 % (in 6 Versuchen)

Die Konzentration des aus Pferdeherzen kristallisierten[2]) Pigments betrug $2 \cdot 10^{-6}$ Mole/Liter; die Schichtdicke der bestrahlten Lösung war 0,6 cm. Wir fanden bei p_H 8,9 und 0^0 (Tabelle 1).

Die photochemische Ausbeute war also in jedem Spektralbezirk nahezu 1. In der Figur ist das Ergebnis graphisch dargestellt, und zwar mit Hinsicht auf das

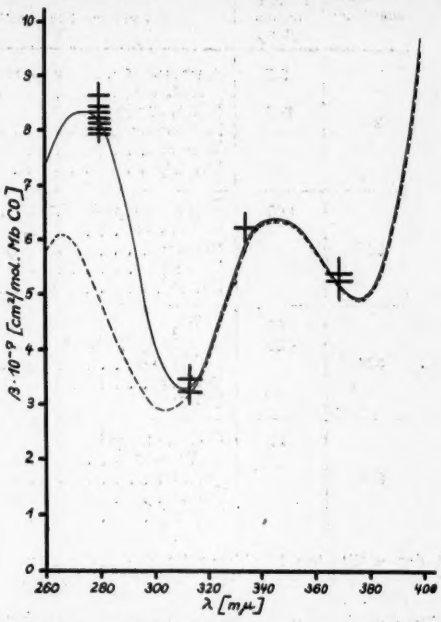


Fig. 1. Photochemisches Wirkungsspektrum (Kreuze, zugrunde gelegt die Ausbeute $\varphi = 1$) und Absorptionsspektrum (ausgezogen) von Kohlenoxyd-Myoglobin, sowie Absorptionsspektrum (gestrichelt) von dessen Häminkomponente.

photochemische Wirkungsspektrum des sauerstoffübertragenden Ferments der Atmung so, daß das aus der photochemischen Wirkung mit $\varphi = 1$ berechnete[3]) Wirkungsspektrum des Kohlenoxyd-Myoglobins verglichen wird mit den Absorptionsspektren des gesamten Kohlenoxyd-Myoglobins und dessen Häminkomponente.

Besonders bemerkenswert ist das Ergebnis $\varphi = 1$ für $\lambda = 280$ mμ. Denn während die anderen Wellenlängen nur von der Häminkomponente (Molekulargewicht 600) des Myoglobins absorbiert werden, wird die Wellenlänge 280 mμ zu 40% von der Proteinkomponente (Molekulargewicht 16 000) des Myoglobins absorbiert — und zwar von den über das ganze Proteinmolekül verteilten Tyrosin- und Tryptophanresten. $\varphi = 1$ für 280 mμ bedeutet, daß jedes von einem Tyrosin- oder Tryptophanrest des Proteins absorbierte Lichtquant 1 Molekül Kohlenoxyd von dem Hämineisen abspaltet, geradeso wie die von dem Hämin selbst absorbierten Quanten.

Möglicherweise spielt eine derartige Energieübertragung von dem Protein zur Wirkungsgruppe allgemein in den Fermenten eine Rolle und ist einer der Gründe dafür, daß die Proteinteile der Fermente die Wirkungsgruppen der Fermente chemisch aktivieren.

Liebenberg (Mark), Kaiser Wilhelm-Institut für Zellphysiologie.

THEODOR BUCHER. JAKOB KASPERS.

Eingegangen im Februar 1945.

1) Biochem. Z. **311**, 163 (1941).
2) A. H. T. THEORELL, Biochem. Z. **252**, 1 (1932).
3) Über den Zusammenhang von Lichtwirkung und Lichtabsorption siehe z. B. Biochem. Z. **200**, 414 (1928), besonders Abschnitt 15, sowie ebenda **311**, 163, (1941), besonders Gleichung (5).

Lichtfilter für 280 mμ.

In der folgenden Tabelle findet man die Filter, die uns bei den oben mitgeteilten photochemischen Versuchen zur Isolierung ultravioletter Quecksilberlinien gedient haben. Dabei ist bemerkenswert, daß man aus Quecksilberhöchstdrucklampen[1]) auch die *Strahlung schwacher Quecksilberlinien*, wie 280 mμ *in beträchtlichen Intensitäten* gewinnen kann. Die spektrale Rein-

Tabelle 1.

Wellenlänge in mμ	Filter: Konzentration g/Liter	Filter: Substanz und Lösungsmittel	Filter: Schichtdicke in cm	Verunreinigungen: Andere Linien	Verunreinigungen: Ultrarot	Lichtquelle und erhaltene Intensität
280	2,5 500	Anthranilsäure in Methanol (sauerstoffrei) $NiSO_4 \cdot 7\,H_2O$[3]) in Wasser Wasser UG 5[4])	0,2 3 10 0,2	zirka 5% 276 mμ	2,5%	HBO 2000 Watt 0,1 cal/Min.
313	500	$NiSO_4 \cdot 7\,H_2O$[3]) in Wasser Wasser WG 5[4]) UG 5[4])	 10 10 0,2 0,2	0	0	HBO 500 Watt 0,25 cal/Min.
334	32 420	$LiNO_3$ $+ NiSO_4 \cdot 7\,H_2O$[3]) in Wasser Wasser UG 2[4])	 2 10	0	8%	HBO 500 Watt 0,1 cal/Min.
366	15	$CuSO_4 \cdot 5\,H_2O$ in Wasser BG 12[4]) UG 2[4]) WG 2[4])	 6 0,4 0,6 0,2	0	0	HBO 500 Watt 0,3 cal/Min.

heit der gefilterten Strahlung ist der spektralen Reinheit, die man mit einem einfachen Monochromator erzielt, nicht unterlegen.

Für das Anthranilsäurefilter wurde die abgebildete Quarzküvette[2]) benutzt, die gestattet — durch Einleiten eines inerten Gases — die Filterlösung sauerstoffrei zu machen und die Filterlösung während des Versuches stetig zu erneuern. So wird die Photooxydation vermieden, die Anthranilsäure (wie auch andere organische Filtersubstanzen) bei starker Bestrahlung erleidet. Die Schichtdicke der Küvette ist mit Rücksicht auf die störende Absorption des Lösungsmittels so klein wie möglich gehalten.

Im Spektrum der von uns benutzten Lampe fehlen (infolge Absorption durch den Quecksilberdampf) die Quecksilberlinien 265 mμ und 270 mμ ist dies nicht der Fall, dann sollte zu den in der Tabelle angeführten Filtern für 280 mμ noch Toluol in Hexan (1 : 100, Schichtdicke 0,5 cm) hinzugefügt werden.

Liebenberg (Mark), Kaiser Wilhelm-Institut für Zellphysiologie.

THEODOR BÜCHER. JAKOB KASPERS.

Eingegangen im Februar 1945.

[1]) Typ HBO der Studiengesellschaft für elektrische Beleuchtung m. b. H. Den Herren Dr. EWEST und D. ROMPE sagen wir auch an dieser Stelle für ihre freundliche Beratung und Unterstützung unseren besten Dank.

[2]) Geblasen von HANFF & BUEST, Berlin.

[3]) $NiSO_4 \cdot 7\,H_2O$ pro analysi MERCK; vgl. L. BÄKESTRÖM, Naturwiss. 21, 251 (1933).

[4]) Filterglas von SCHOTT & Gen., Jena.

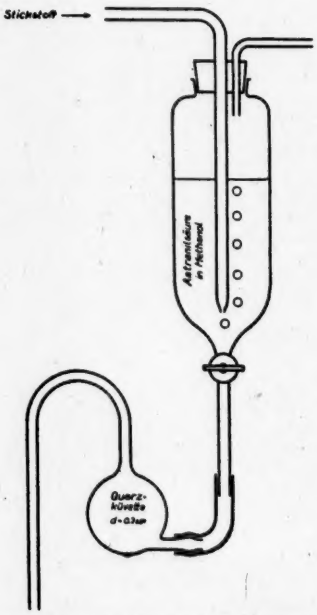


Fig. 1: Küvette für photooxydable Filtersubstanzen.

Molekulargewicht des sauerstoffübertragenden Ferments.

Das vorstehende Ergebnis BÜCHERs

$$\varphi = 1 \text{ für } \lambda\ 280\ \text{m}\mu$$

kann man benutzen, um das Molekulargewicht des sauerstoffübertragenden Ferments der Atmung zu berechnen. Denn aus dem Wirkungsspektrum[1]) der Kohlenoxydverbindung des Ferments ergibt sich nunmehr der molare Absorptionskoeffizient des Proteinteils des Ferments für die Wellenlänge 280 mμ:

$$\beta = 1{,}5 \cdot 10^8 \left[\frac{\text{qcm}}{\text{Grammatome Eisen}}\right].$$

Setzen wir ferner — aus Analogiegründen — den Absorptionskoeffizienten pro Gramm Ferment-Protein für die Wellenlänge 280 mμ

$$\beta' = 2 \cdot 10^3 \left[\frac{\text{qcm}}{\text{Gramme Protein}}\right],$$

so beträgt die Proteinmenge, die in dem Ferment mit 1 Grammaton Eisen oder mit 1 Mol Haemin verbunden ist:

$$\frac{\beta}{\beta'} = \frac{1{,}5 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^3} = 75000 \left[\frac{\text{Gramme Protein}}{\text{Grammatome Eisen}}\right].$$

Liebenberg (Mark), Kaiser Wilhelm-Institut für Zellphysiologie.

OTTO WARBURG.

Eingegangen im Februar 1945.

[1]) Angew. Chem. 45, 1 (1932).

Besprechungen.

KARL JASPERS. **Die Idee der Universität.** (Schriften der Universität Heidelberg. Heft 1.) 123 Seiten. Springer-Verlag, Berlin, 1946. Preis brosch. RM. 4,80.

Aus Gründen, die wohl keiner besonderen Erörterung bedürfen, wird der Deutschen Universität seitens weiter Kreise gegenwärtig wieder ein erheblich größeres Interesse entgegengebracht, als in den Jahren unmittelbar nach 1933. Daher ist es aufs Lebhafteste zu begrüßen, daß der ausgezeichnete Heidelberger Philosoph KARL JASPERS in einer kleinen für die breite Öffentlichkeit bestimmten Schrift den Sinn und die Aufgaben der Universität außerordentlich klar und überzeugend dargelegt. Die Schrift ist nicht revolutionär und will es nicht sein; ihre Gedankengänge entsprechen daher im Ganzen durchaus der bisherigen akademischen Tradition, sodaß sie, wie der Autor gelegentlich selbst bemerkt, nichts eigentlich Neues bringt. Trotzdem ist die Schrift alles andere als ein bloßer Rückblick auf die Vergangenheit; im Gegenteil ist ihr eigentlicher Wert gerade darin zu erblicken, daß sie die Probleme aufzeigt, die aus dem Bestreben erwachsen, die altbewährte akademische Tradition mit der Situation und den Erfordernissen der Gegenwart nach Möglichkeit in Einklang zu bringen.

Der allgemeine Aufbau der Schrift ergibt sich aus folgendem Gedankengang:

„An der Universität sind Menschen vereinigt in einer Institution zu dem Beruf, die Wahrheit durch Wissenschaft sowohl zu *suchen* als auch zu *überliefern*" (S. 10).

„Um die Idee der Universität und die aus ihr erwachsende Institution zu verstehen, ist daher zunächst das sie tragende geistige Leben überhaupt und vor allem das Wesen der Wissenschaft zu erörtern" (S. 12).

Im Rahmen des ersten Hauptabschnittes „Das geistige Leben" befaßt sich dementsprechend das erste Kapitel eingehend mit dem *„Wesen der Wissenschaft"*; der folgende größere Abschnitt behandelt die *Hauptaufgaben der Universität*, die sich aus der Verwirklichung des geistigen Lebens in der Korporation ergeben. Den Abschluß bildet ein dritter Abschnitt über die *Daseinsvoraussetzungen der Universität*, also eine Erörterung der Bedingungen, die für die Durchführung der Aufgaben nötig sind.

Das wichtigste erste Kapitel zerfällt in die Unterabschnitte: 1. Grundcharakter der Wissenschaft, 2. Engerer und weiterer Begriff von Wissenschaft, 3. Grenzen der Wissenschaft, 4. Nutzen und Selbstzweck der Wissenschaft, 5. Voraussetzungen der Wissenschaft 6. Wissenschaft bedarf der Führung, 7. Wissenschaft als Bedingung aller Wahrhaftigkeit, 8. Wissenschaft und Philosophie. So wertvoll dieses Kapitel im Hinblick auf seinen Gedankenreichtum auch ist, so scheint doch dem Referenten in ihm der Krise, in der sich die Wissenschaft durch ihre unermeßliche Verzweigung und Aufsplitterung in zahllose, beziehungslose Einzelfächer gegenwärtig befindet, nicht genügend Rechnung getragen zu sein. Diese Entwicklung muß als eine Grundtatsache hingenommen werden, aber sie läuft der eigentlichen, auch vom Verfasser stark betonten Grundforderung der Wissenschaft nach Universalität diametral entgegen. Nur an einer Stelle, in dem Unterabschnitt über den Nutzen und den Selbstzweck der Wissenschaft, wird diese Entwicklung einmal, und zwar von einem eigentümlichen Standpunkt aus kurz beleuchtet. Hier heißt es (S. 21): „Die Redewendung vom Selbstzweck der Wissenschaft hat einen schlechten Ruf", und dann: „Die Endlosigkeit beliebiger Feststellungen, die Zerstreuung der Wissenschaft in ein Vielerlei, das in sich keine Bezüge mehr hatte, die Selbstzufriedenheit eines spezialistischen Wissens bei Menschen, denen im Ganzen Unwissenheit und Blindheit eigen war, der Betrieb der Wissenschaften als ein Massenphänomen mit dem ständigen Entgleisen in den Endlosigkeiten des bloß Richtigen, die Aufhebung des Sinns von Wissenschaft in diesem Betrieb und zugleich dessen Nutzlosigkeit für Lebenszwecke, dies alles machte den Selbstzweck der Wissenschaft verdächtig."

So bliebe denn nichts übrig, als eine prinzipielle Abtrennung aller Spezialwissenschaften von einer „echten" Wissenschaft; aber wo und in welcher Weise soll die Grenze gezogen werden? Das Problem wird zwar noch einmal im Unterabschnitt 6) berührt: „Wenn Wissenschaft sich selbst überlassen wird, gerät sie in Verwahrlosung", daher: „Wissenschaft bedarf der Führung"; und „Für die Verwirklichung der Wissenschaft ist entscheidend, woher diese Führung kommt und welchen Sinn sie der Wissenschaft gibt." Aber diese zweifellos fundamental wichtige Frage wird dann nur ganz allgemein und wenig befriedigend von einem rein philosophischen Standpunkt durch einen Hinweis auf die Notwendigkeit einer Selbstbesinnung des Einzelnen beantwortet.

Zwei kurze Kapitel über „Geist, Existenz, Vernunft und Bildung" beschließen den ersten Hauptabschnitt. Etwas auffallend sind hier (S. 36) einige Bemerkungen über den *Bildungswert der Naturwissenschaften*, die wahrscheinlich bei zahlreichen Fachgenossen keine ungeteilte Zustimmung finden werden; denn merkwürdigerweise werden in ihnen die eigentlichen Ergebnisse naturwissenschaftlicher Forschung, auch solche allgemeiner Art, im Prinzip als wertlos und ihre Verwendung zur Gestaltung eines Weltbildes sogar direkt als eine Gefahr hingestellt.

Als *Aufgaben der Universität* werden bezeichnet: *Forschung, Unterricht, Erziehung (Bildung), Kommunikation.*

„Weil Wahrheit durch Wissenschaft zu *suchen* ist, ist Forschung das Grundanliegen der Universität". — „Weil Wahrheit *überliefert* werden soll, ist Unterricht die zweite Aufgabe der Universität. Da aber die Überlieferung von bloßen geistigen Kenntnissen und Fertigkeiten unzureichend für das Erfassen von Wahrheit wäre, die vielmehr eine geistige Formung des ganzen Menschen verlangt, so ist Bildung (Erziehung) der Sinn von Unterricht und Forschung" (S. 11).

Kommunikation pflegte als eine der Hauptaufgaben der Universität bisher nicht in der Weise hervorgehoben zu werden, wie es erwünscht wäre. JASPERS schreibt hierzu: (S. 59) „Die Universität bringt Menschen zusammen, die wissenschaftlich erkennen und geistig leben. Der ursprüngliche Sinn der universitas als Gemeinschaft der Lehrer und Schüler ist ebenso wichtig wie der Sinn der Einheit aller Wissenschaften. .... Daher soll die Universität der Rahmen sein, innerhalb dessen Forscher untereinander und Forscher und Schüler in nächste Verbindung der Diskussion und der Mitteilung treten." Und weiter unten (S. 62) „Jede wissenschaftliche Leistung ist im Entscheidenden die eines einzelnen Menschen. Sie ist persönliche Leistung. Diese aber gewinnt ihre Steigerung durch Zusammenarbeit mehrerer. Zusammenarbeit ist die Kommunikation in der Sache derart, daß Antrieb, Klarheit, Reiz den höchsten Grad erreichen, daß der Einfall des einen den Einfall des anderen erweckt, der Ball hin- und hergeworfen wird.

Solche kommunikative Forschungsbewegung ist unterschieden von Kollektivarbeit. Diese ist ein wissenschaftlicher Industriebetrieb, der etwas hervorbringt dadurch, daß der führende Kopf Arbeiter beauftragt, die er zwar Mitarbeiter nennt, aber in der Tat einstellt als Glieder in der Kette seines Planes."

Es folgen nun Ausführungen über die Institution der Universität und die Spannungen und Schwierigkeiten, die bei der Verwirklichung der Idee der Universität gerade unter den gegenwärtigen Verhältnissen unvermeidbar sind. Denn: „Jede Verwirklichung einer Idee in Institutionen führt auch zu einer Einschränkung der Idee. Die Institution, ihre Gesetze und Formen drängen sich vor. Die Idee verschwindet und nur ein Betrieb bleibt übrig."

Auf die trotz der Knappheit der Darstellung vielfach verzweigten Gedankengänge des Verfassers kann hier nicht näher eingegangen werden. Im Vordergrund des Interesses steht wohl das Problem des Verhältnisses von Persönlichkeit und Institution: denn „das Leben der Universität hängt an den Persönlichkeiten, nicht an der Institution, welche nur Bedingung ist. Dabei ist es unvermeidlich, daß eine Spannung zwischen den lebendigen Forscherpersönlichkeiten und den institutionellen Formen eintritt, solange die Idee der Universität am Leben bleibt."

Größte Schwierigkeiten erwachsen bekanntlich gegenwärtig der Universität in sämtlichen Kulturländern durch den Massenzudrang von Studierenden, welcher der geistesaristokratischen Grundhaltung der Universität (näheres S. 118 f) direkt zuwiderläuft und der unbedingt irgendwie gesteuert und abgelenkt werden muß. Die verschiedenen in Frage kommenden Auslesemöglichkeiten (Aufnahme- bzw. Zwischenexamina, persönliche Auswahl seitens einer übergeordneten Persönlichkeit, Wahl von unten seitens einer formal begrenzten Gruppe von Menschen) werden eingehend erörtert; der Verfasser kommt hierbei zu dem Ergebnis, daß sie im Prinzip sämtlich unzulänglich sind; schließlich werden aber verständig durchgeführte Examina noch am ehesten als tragbar hingestellt, zumal sie ja beim Abschluß des Studiums ohnehin unvermeidbar sind.

Es liegt in der Natur der Sache, daß konkrete Vorschläge für die Gestaltung der Institution der Universität außerhalb des eigentlichen Aufgabenkreises der Jasperschen Schrift liegen. Zwar enthält sie trotzdem eine ganze Reihe wertvoller Hinweise und Anregungen; u. a. wird beispielsweise die Einrichtung technischer Fakultäten an den Universitäten empfohlen, obgleich die in einem gewissen Widerspruch steht zu seiner unbedingten Ablehnung des Spezialistentums im Rahmen der eigentlichen Wissenschaft; der Hauptpunkt, für dessen starke Herausarbeitung man dem Verfasser nicht dankbar genug sein kann, bleibt aber doch die allgemeine Idee der Universität. Diese Idee, von der es (S. 70) heißt: „Der Studierende und der Professor sollen die Universität nicht als zufällige staatliche Institution, nicht als bloße Schule und nicht als eine Berechtigung erteilende Maschinerie ansehen, sondern der Idee der Universität teilhaftig werden, dieser abendländischen, übernationalen, hellenisch-deutschen Idee. Diese Idee ist nicht handgreiflich faßbar, nicht äußerlich sichtbar, nicht laut, sie glimmt in der Asche der Institutionen und flammt von Zeit zu Zeit in einzelnen Menschen und Gruppen von Menschen heller auf." und an einer anderen Stelle (S. 64) fast noch prägnanter: „Das Durchdrungensein von der Idee der Universität ist Element einer Lebensanschauung: des Willens zu unbeschränktem Forschen und Suchen, zur grenzenlosen Entfaltung der Vernunft, zur Alloffenheit, zur Infragestellung von jedem, was in der Welt vorkommen kann, zur unbedingten Wahrheit mit der ganzen Gefahr des sapere aude."

Der Schrift ist im Inland wie im Ausland weiteste Verbreitung zu wünschen. A. EUCKEN.

PASCUAL JORDAN. **Statistische Mechanik auf quantentheoretischer Grundlage.** 2. Auflage, Bd. 87 der Folge „Die Wissenschaft", Verlag Vieweg 1944, VII, 110 S., Preis brosch. RM. 6.80.

Gegenüber der ersten Auflage von 1933 ist die neue Auflage, soweit wir sehen konnten, nur insofern verändert, als die Zahlenwerte von h, k, L (LOSCHMIDTsche Zahl pro mol) den neueren Ergebnissen der experimentellen Forschung angeglichen und die inzwischen entdeckten Elementarteilchen, Neutron, Positron, Meson bezüglich ihres statistischen Verhaltens klassifiziert sind. Das früher vermerkte scheinbar gesetzwidrige Verhalten des N-Kerns und der von da aus erhobene Zweifel an der Gültigkeit der Quantenmechanik für das Innere der Kerne konnte berichtigt werden dank der heutigen These vom Aufbau der Kerne aus Protonen und Neutronen. Der Umfang des Buches (wenig mehr als 100 Seiten) ist nicht vergrößert; eine eingehende Statistik der Metallelektronen durfte daher auch in die neue Auflage nicht aufgenommen werden.

Der Untertitel des Buches „auf quantentheoretischer Grundlage" ist betont gemeint. Überall wird gezeigt, wieviel einfacher und sicherer die Statistik wird, wenn die endliche Ausdehnung h der Elementarbereiche zugrunde gelegt wird. Die erforderlichen Grundbegriffe der Quantentheorie (diskrete Zustände, Übergangswahrscheinlichkeiten, Ungenauigkeitsregeln) werden dabei als bekannt vorausgesetzt oder nur kurz erläutert. Auch die Relativitätstheorie wird an manchen Stellen herangezogen. Die quantentheoretische Fassung des LIOUVILLE'schen Satzes sieht ganz anders aus als seine ursprüngliche mechanische Formulierung und wird mit dem „principle of detailed balance" in Zusammenhang gebracht. Die funktionentheoretische Methode von DARWIN und FOWLER wurde gebührend berücksichtigt.

Für Anfänger ist das Buch nicht geschrieben; der entsprechend vorgebildete Leser wird aber bei genauerem Studium viel Interessantes daraus lernen, seine Begriffe schärfen und zugleich an der Kunst der Darstellung, die ein so weitschichtiges, abstraktes und schwieriges Gebiet lückenlos abhandelt, seine Freude haben. A. SOMMERFELD.

Tagesnotizen.

Zum 60. Geburtstag Paul Buchners

Am 12. April feierte Professor Dr. Paul BUCHNER, Ordinarius für Zoologie der Universität Leipzig, auf der Insel Ischia bei Neapel seinen 60. Geburtstag. Aus einer Familie mit starken naturwissenschaftlichen Neigungen stammend — sein Vater, Medizinalrat in Nürnberg, war ein hervorragender Kenner der Mittelmeerflora — studierte er in Würzburg und München und wurde 1909 bei Richard HERTWIG promoviert. Sein erstes Arbeitsgebiet, mit dem er sich einen Namen machte, war die Cytologie; sein „Praktikum der Zellenlehre" (1915), ist noch heute unübertroffen. Bei seinen Zellforschungen stieß er auf die mit so vielen Tieren vergesellschafteten Mikroorganismen. Der Symbiose zwischen diesen beiden Partnern galt sein weiteres Forschen und im Laufe eines Menschenalters erschloß er, wie es nur wenigen Forschern gelingt, unterstützt durch zahlreiche Schüler, ein bisher völlig unbekanntes, an Überraschungen reiches, großes Arbeitsgebiet, das der Symbioselehre, über das sein zusammenfassendes Werk „Tier und Pflanze in Symbiose" (2. Auflage Bornträger 1930) erschöpfend Aufschluß gibt. Dank seiner intensiven Arbeit ist die morphologische Seite dieses meist durch einseitige Ernährungsweise bedingten Zusammenlebens nahezu erschöpfend dargestellt, während die physiologischen Probleme noch lange Zeit ungelöst sein werden.

BUCHNER habilitierte sich 1912 in München, wurde 1919 Extraordinarius, war 1923—27 Ordinarius für Zoologie in Greifswald, 1927—1934 in Breslau und seit 1934 in Leipzig. Seiner künstlerischen Natur, die aus allen seinen Werken spricht, folgend, vermählte er sich mit einer italienischen Malerin. Fast jedes Jahr zog es ihn zum Süden, 1929 schuf er sich in der „Casa Buchner" auf Ischia ein zweites wundervoll gelegenes Heim. Hier wurde er bei dem Übertritt Italiens zu den Alliierten überrascht und weilt seither dort. In steigendem Maße interessiert ihn die Entstehungs- und Entwicklungsgeschichte und das Gesamtbild dieser durch vulkanische Kräfte entstandenen Insel. Seine 1940 erschienene Studie über die Lagunen des Golfs von Neapel ist — neben zahlreichen Arbeiten seiner Mitarbeiter und seines Sohnes über die Tierwelt der Insel und ihrer Vorgeschichte — die erste Frucht dieses Interesses.

Mit großer Liebe nahm Buchner sich stets aller seiner Schüler an, und in den von ihm geleiteten Instituten lebte alles wie in einer großen Familie zusammen. Alle seine Schüler, die deutschen Zoologen und Wissenschaftler wünschen ihm noch lange Jahre des Forschens und die baldige Vollendung seines jetzt begonnenen Werkes der Naturgeschichte der Insel Ischia.

H. J. Stammer.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: ARNOLD EUCKEN, Göttingen.
Springer-Verlag in Berlin. — Druck: „Muster-Schmidt" KG., Göttingen.